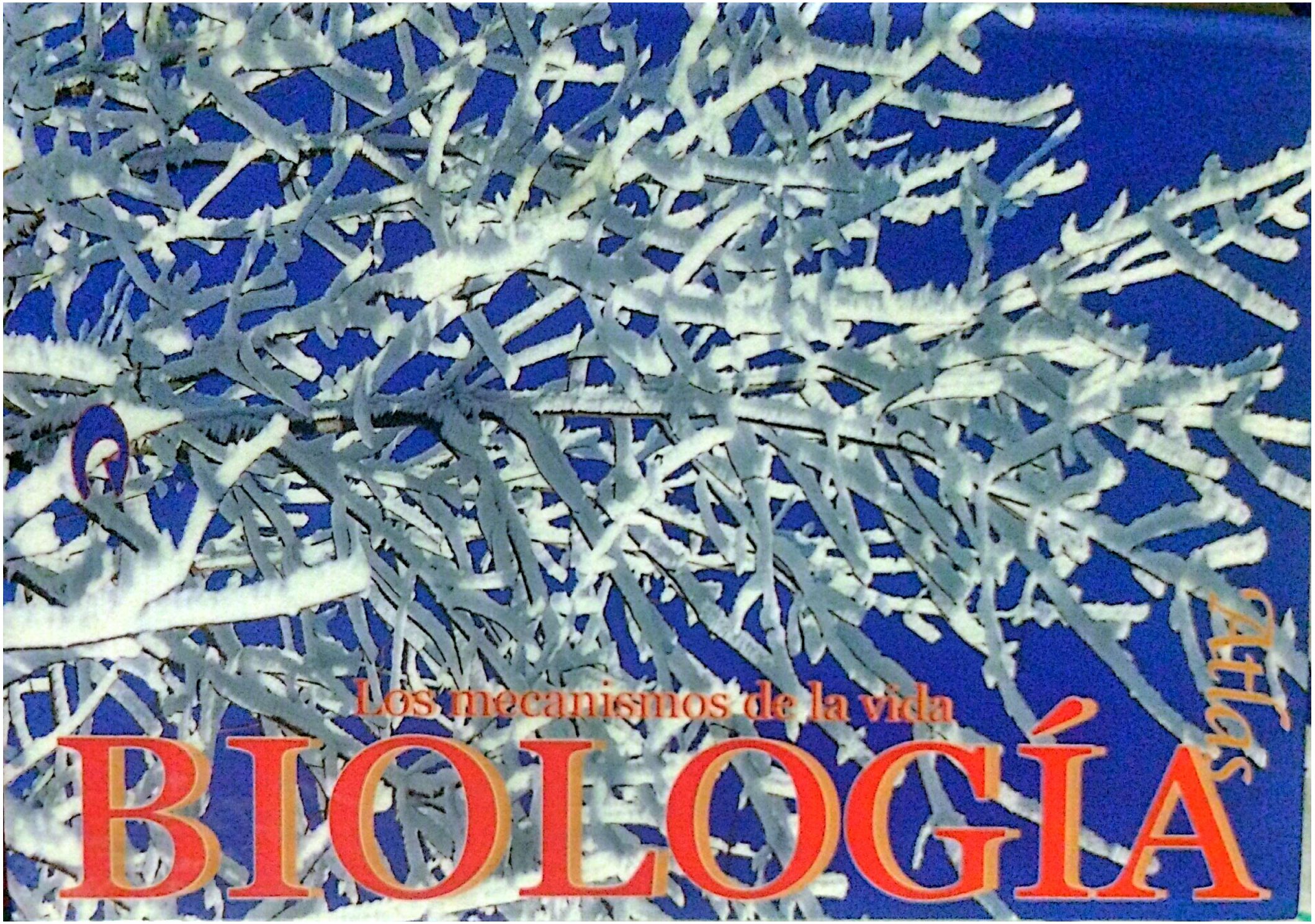


Escaneado con CamScanner

Escaneado con CamScanner

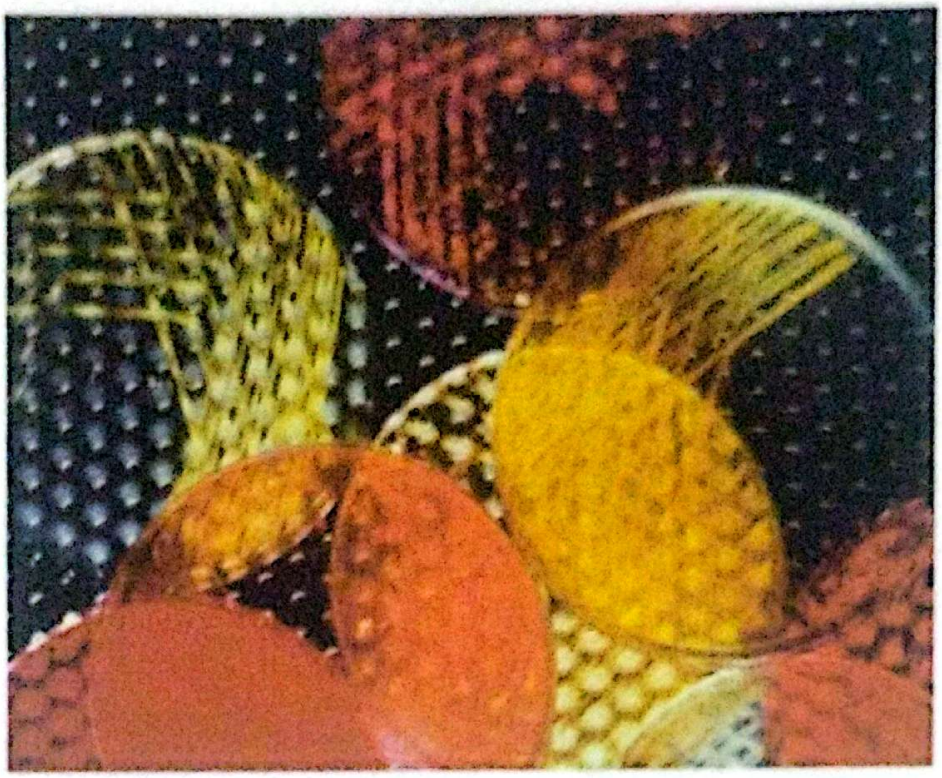
Escaneado con CamScanner

Escaneado con CamScanner

BIBLIOTECA
"Nstra. [illegible] la Paz"

Escaneado con CamScanner

Escaneado con CamScanner



BIOLOGÍA

Los mecanismos de la vida

Escaneado con CamScanner

EDICIÓN MMVI

© CULTURAL, S.A.

Edita: CULTURAL, S.A.
Polígono Industrial Arroyomolinos
Calle C, núm. 15. Móstoles
(MADRID) - ESPAÑA

Imprime: Grafillés
ISBN: 84-8055-014-7
Depósito legal: TO. 1.085
Impreso en la U.E. - *Printed in E.U.*

Escaneado con CamScanner

SUMARIO

1.	Qué es la vida	8
2.	La organización de la vida	10
3.	El origen de la vida. La biosfera	12
4.	Cómo se clasifican los seres vivos	14
5.	Los cinco reinos del mundo viviente	16
6.	Historia de la Biología	20
7.	La base química de la vida	22
8.	Carbohidratos y lípidos	24
9.	Biomoléculas con actividad vital: las proteínas	26
10.	El secreto de la vida: ácidos nucleicos	28
11.	Biocatalizadores: enzimas, vitaminas, hormonas	30
12.	La célula	32
13.	El interior de la célula: el citoplasma y sus orgánulos	34
14.	El núcleo celular	36
15.	La membrana celular	38
16.	La célula procariota y los virus	40
17.	Los seres unicelulares eucariotas	42
18.	Organización pluricelular: los tejidos vegetales	44
19.	Tejidos animales	46
20.	Los seres vivos y la energía: nutrición	48
21.	Digestión y transporte de nutrientes	50
22.	La fase degradativa del metabolismo: catabolismo	54

Escaneado con CamScanner

SUMARIO

1. Qué es la vida 8
2. La organización de la vida 10
3. El origen de la vida. La biosfera 12
4. Cómo se clasifican los seres vivos 14
5. Los cinco reinos del mundo viviente 16
6. Historia de la Biología 20
7. La base química de la vida 22
8. Carbohidratos y lípidos 24
9. Biomoléculas con actividad vital: las proteínas 26
10. El secreto de la vida: ácidos nucleicos 28
11. Biocatalizadores: enzimas, vitaminas, hormonas 30
12. La célula 32
13. El interior de la célula: el citoplasma y sus orgánulos 34
14. El núcleo celular 36
15. La membrana celular 38
16. La célula procariota y los virus 40
17. Los seres unicelulares eucariotas 42
18. Organización pluricelular: los tejidos vegetales 44
19. Tejidos animales 46
20. Los seres vivos y la energía: nutrición 48
21. Digestión y transporte de nutrientes 50
22. La fase degradativa del metabolismo: catabolismo 54

Escaneado con CamScanner

BIBLIOTECA

23. Anabolismo autótrofo: fotosíntesis y quimiosíntesis 58
24. Anabolismo heterótrofo 60
25. Eliminación de desechos metabólicos: excreción 62
26. Defensa interna: las reacciones inmunitarias 64
27. Sensibilidad: coordinación nerviosa y hormonal 66
28. Etología: el comportamiento de los seres vivos 70
29. La reproducción celular: mitosis y meiosis 72
30. Reproducción asexual 74
31. La reproducción sexual 76
32. Alternancia de generaciones 80
33. Desarrollo de los seres vivos: ontogenia 82
34. La herencia biológica: leyes de Mendel 86
35. Síntesis del ADN y del ARN 90
36. Mutaciones 92
37. Genética molecular 94
38. Evolución 98
39. La historia de la vida: Paleontología 102
40. Comunidades y ecosistemas 104
41. Los ciclos bioquímicos y el flujo de la energía 106
42. Biomas terrestres y ecosistemas marinos 108

Índice de materias 110

Escaneado con CamScanner

Qué es la vida

1

Todos los seres vivos nacen de otro ser vivo, se desarrollan, consumen energía, se reproducen y mueren. Otra característica de los seres vivos es su capacidad para responder a los estímulos.

La Biología es la ciencia que estudia los seres vivos. Se hace imprescindible, por tanto, explicar los aspectos más característicos que distinguen a la materia viva de la materia inerte, es decir las características que tienen en común todos los seres vivos.

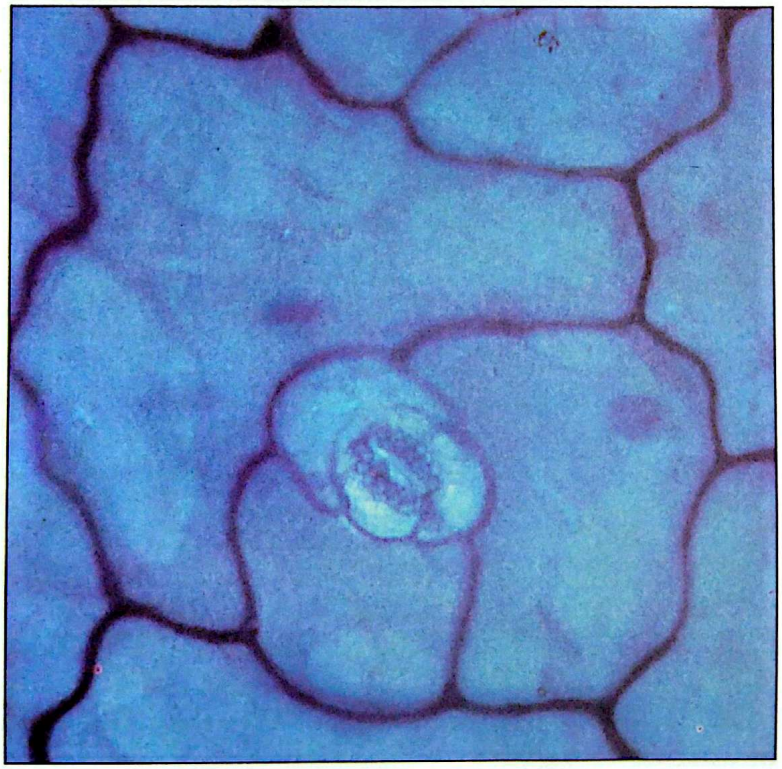
ORGANIZACIÓN ESPECÍFICA

Todos los organismos vivos, excepto los virus, están formados por unidades básicas con vida propia llamadas *células*. Los organismos más simples constan de una sola célula (seres unicelulares), aunque ésta pueda alcanzar a veces estructuras muy complejas. Los organismos pluricelulares tienen su cuerpo constituido por numerosas células, que se agrupan para formar diferentes tejidos y órganos con distintos grados de diferenciación, lo que les proporciona mayores posibilidades biológicas.

CAPACIDAD REPRODUCTORA

Solamente los seres vivos (incluidos los virus) poseen la capacidad de multiplicarse y originar nuevos seres semejantes a sí mismos; además, esta característica se considera la esencia misma de la vida. Muchos organismos se reproducen asexualmente, originando individuos idénticos al progenitor, pero en casi todas las plantas y animales la reproducción sexual se realiza mediante la producción de células especializadas, llamadas *gametos*, que se unen para formar el *cigoto* u óvulo fecundado que originará el nuevo organismo. El proceso reproductivo implica cuatro propiedades que también caracterizan a los seres vivos: crecimiento, desarrollo, adaptación y herencia.

Una característica común a todos los seres vivos es su organización específica. En la foto, tejido vegetal formado por células especializadas.



Crecimiento

Dado que el descendiente tiene un tamaño inferior al del progenitor, el crecimiento es indispensable para la reproducción de la vida. Desde el punto de vista biológico, el crecimiento es el proceso en virtud del cual aumenta la masa celular de un organismo, como resultado de un incremento del tamaño de las células, del número de éstas o de ambos.

Desarrollo

El desarrollo también es necesario para perpetuar la especie ya que, al nacer, el individuo no posee todavía el grado de organización del adulto. Por ejemplo, los órganos reproductores no alcanzan su funcionalidad hasta una determinada edad, que varía con la especie.

Adaptación

La capacidad de adaptación del individuo al medio ambiente cambiante, a través de alteraciones estructurales y funcionales, es otra característica inherente a la vida. Estas alteraciones son la base de la *evolución*, que se halla estrechamente relacionada con la capacidad de adaptación y la capacidad reproductora de los seres vivos.

Herencia

Las diferencias entre los individuos originadas por las mutaciones son diseminadas a través de la reproducción sexual. Los individuos más aptos para sobrevivir ante un cambio ambiental logran reproducirse y, de este modo, transmitir sus caracteres anatómicos, fisiológicos y psíquicos de generación en generación, haciendo posible la supervivencia a sus descendientes.

METABOLISMO

Para realizar sus funciones vitales, para el crecimiento y la reparación de las células, así como para producir calor, todo ser vivo necesita incorporar sustancias adecuadas (nu-

Escaneado con CamScanner

La capacidad reproductora es la principal característica de los seres vivos, e implica crecimiento, desarrollo, adaptación y herencia.

La sudación es un ejemplo de homeostasis. La evaporación del sudor reduce la temperatura corporal.

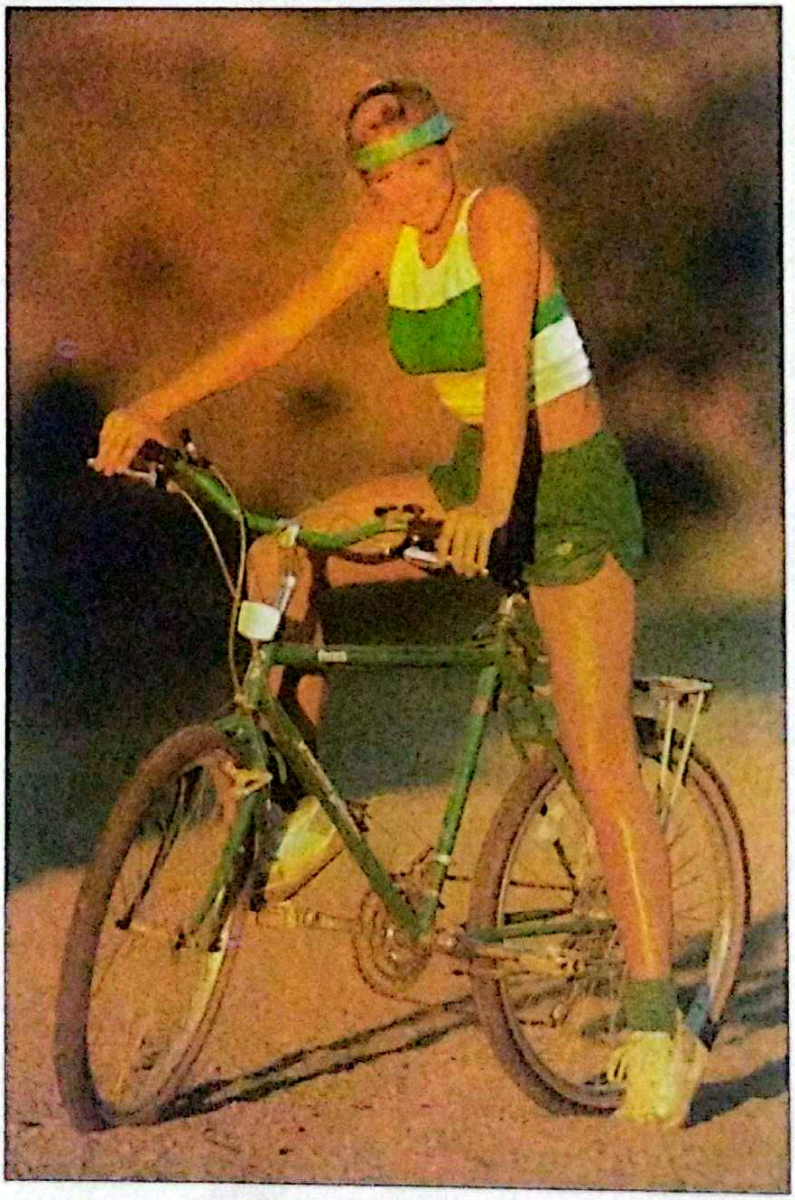
trientes) y consumir energía. El proceso de incorporación de sustancias, con la consiguiente formación de nueva materia viva y acumulación de energía a expensas de aquéllas, recibe el nombre de *anabolismo*. El proceso de degradación y destrucción, con liberación de energía, recibe el nombre de catabolismo. El conjunto de todas estas reacciones químicas que tienen lugar en el organismo constituyen el metabolismo, actividad indispensable para el mantenimiento de la vida: en el momento en que se suspenden las actividades metabólicas sobreviene la muerte.

HOMEOSTASIS

La homeostasis es la tendencia que tiene todo ser vivo a mantener su equilibrio interno, cosa que consigue a través de una serie de mecanismos reguladores del metabolismo. Un ejemplo ilustrativo de este fenómeno es la regulación de la temperatura corporal en animales de sangre caliente, y en particular en el hombre, mediante células especializadas del cerebro que al detectar un aumento anormal de la temperatura de la sangre, envían impulsos nerviosos a las glándulas sudoríparas con objeto de activar el sudor. La evaporación de éste reduce la temperatura corporal.

IRRITABILIDAD

Otra característica de los seres vivos es su capacidad para responder a los estímulos, que no son sino cambios físicos o químicos en el ambiente interno o externo. La mayoría de los organismos son sensibles a cambios en la luz (color, intensidad, etc.), en la temperatura, en la presión o en la composición química del suelo, aire o agua circundantes. Las respuestas a los diferentes estímulos pueden ser muy variadas: movimientos, secreciones, cambios de dirección en el crecimiento, etcétera.



Escaneado con CamScanner

La organización de la vida

2

Las macromoléculas de naturaleza proteica son los compuestos químicos que están en la frontera entre la materia inerte y la materia viva. Estas se agrupan para formar los orgánulos de la célula, las células forman los tejidos que a su vez conforman los órganos de un ser vivo. Los seres vivos forman poblaciones y comunidades.

La constitución de la materia viva, en contraposición a la materia inerte o mineral, es mucho más compleja que ésta, pues a las unidades estructurales que caracterizan al mundo mineral (átomo, molécula) se suman unidades dotadas de vida que constituyen un nivel biológico de organización superior.

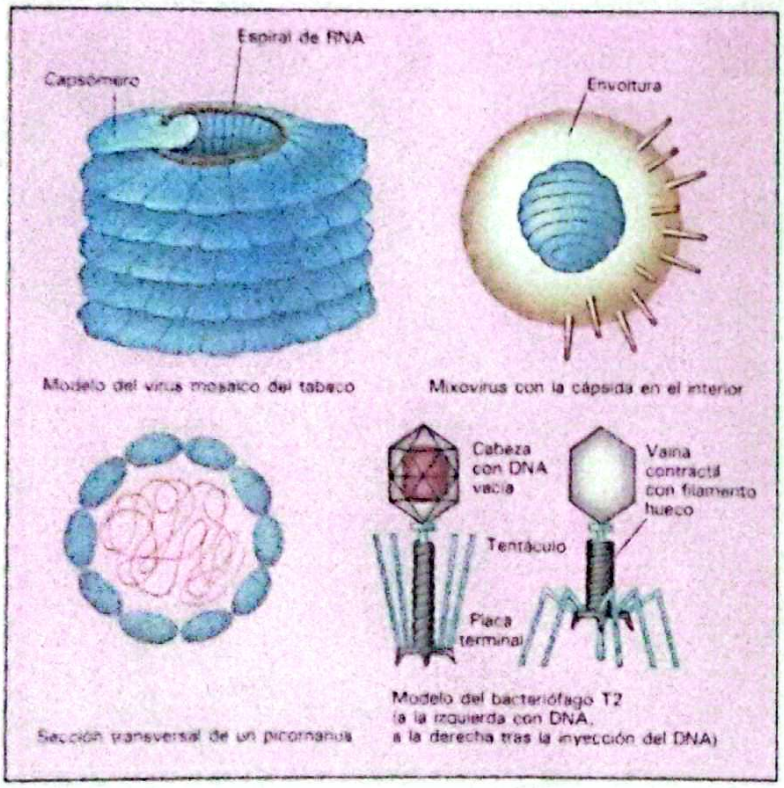
NIVEL QUÍMICO

El estudio de la vida empieza por el estudio de sus componentes más simples, ya sean elementos químicos o bien compuestos químicos, constituidos a su vez por átomos, moléculas y macromoléculas.

Aproximadamente el 98 % de la masa de un organismo vivo está formado por sólo seis de los 92 elementos naturales que componen la materia que constituye el universo. Estos elementos son: oxígeno (O), carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), calcio (Ca) y fósforo (P). En menores cantidades, los seres vivos contienen además otros 14 elementos, algunos de los cuales, como el cobre y el yodo, reciben el nombre de oligoelementos por presentarse en cantidades diminutas.

- El **átomo** es la unidad más pequeña de un elemento que conserva las propiedades químicas de dicho elemento, no pudiendo ser subdividido por medios puramente químicos. Los átomos no pueden ser observados ni siquiera con la ayuda del microscopio óptico, y están constituidos a su vez por partículas más pequeñas, los *electrones*, organizadas alrededor de un núcleo central formado por *protones* y *neutrones*.
- Las **moléculas** son las menores unidades de materia constituidas por la unión de átomos que pueden existir en estado libre sin perder sus propiedades.
- Las **macromoléculas** son los compuestos químicos que están en la frontera entre la materia inerte y la materia viva. Se trata de moléculas gigantes, que son principalmente de naturaleza proteica.

Los virus (como los de la ilustración) constituyen la forma más elemental de ser vivo.



NIVEL CELULAR

En la materia viva, diversas moléculas se encuentran organizadas en estructuras complejas altamente especializadas, denominadas **orgánulos**, que forman parte de la **célula**, unidad biológica fundamental dotada de vida propia. Cada célula consta de un citoplasma gelatinoso, en el cual se hallan suspendidos los orgánulos, rodeado por una membrana (*membrana celular*). La célula puede constituir un organismo completo (seres unicelulares) o bien agruparse con otras para formar niveles de organización superiores (nivel orgánico) propios de los seres pluricelulares.

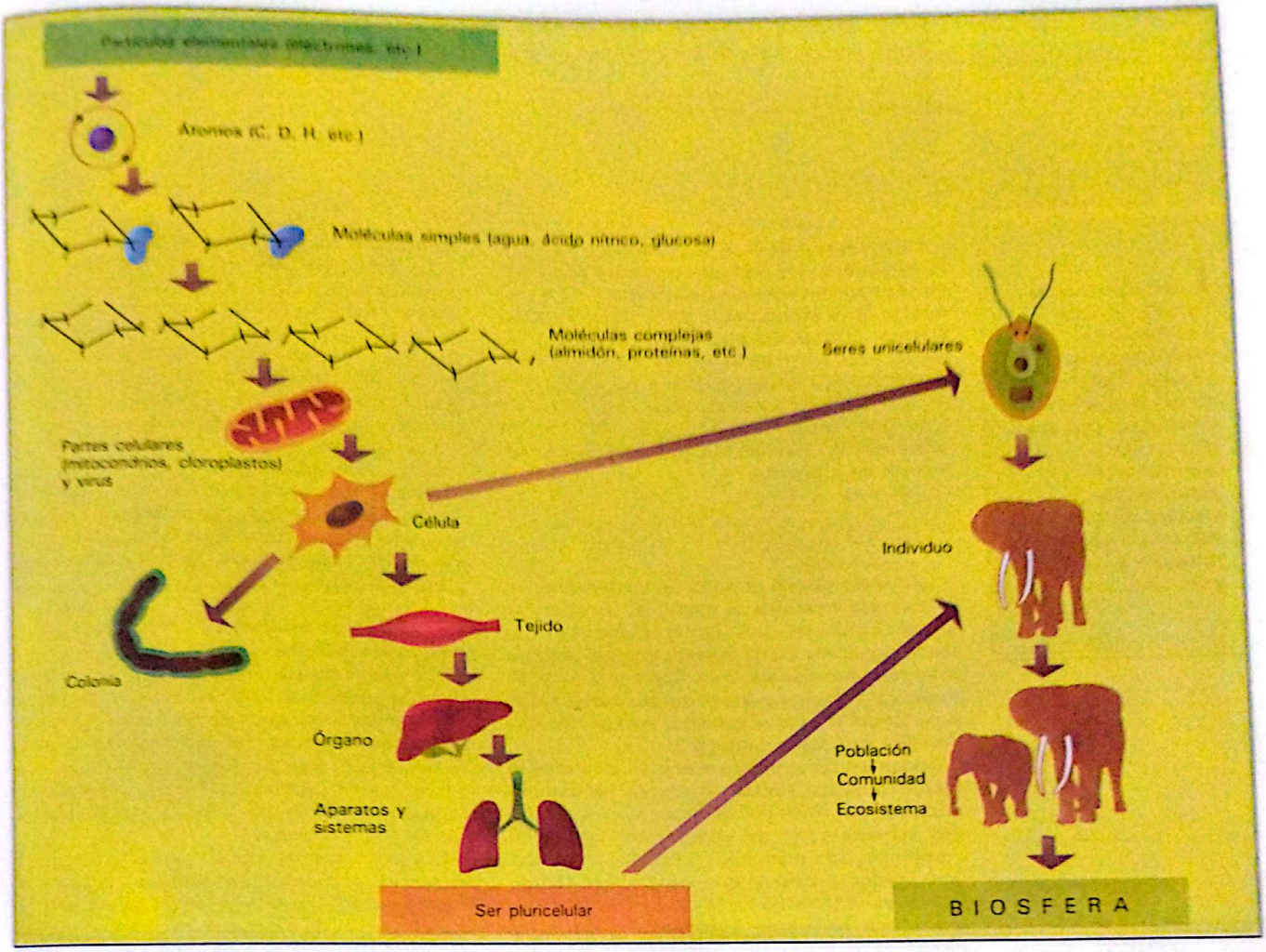
Los **virus**, aunque carecen de autonomía metabólica, se consideran las formas más elementales de vida, y junto con las **macromoléculas** constituyen los niveles de organización fronterizos entre la materia inerte y la materia viva, así como el objeto de estudio de una rama de la biología actualmente en progresivo desarrollo: la **biología molecular**.

NIVEL ORGÁNICO

En la mayoría de los organismos pluricelulares, las células se agrupan para formar **tejidos**, y éstos a su vez se encuentran organizados en estructuras funcionales más complejas llamadas **órganos**, como por ejemplo el corazón o el hígado.

El nivel superior de organización es el **aparato** o el **sistema**, que realiza un grupo de funciones biológicas determinado y está constituido por un conjunto de tejidos y órganos que interactúan de forma coordinada. El individuo pluricelular complejo es el resultado del funcionamiento conjunto de los aparatos y sistemas que lo integran (sistema circulatorio, aparato digestivo, etc.).

Escaneado con CamScanner

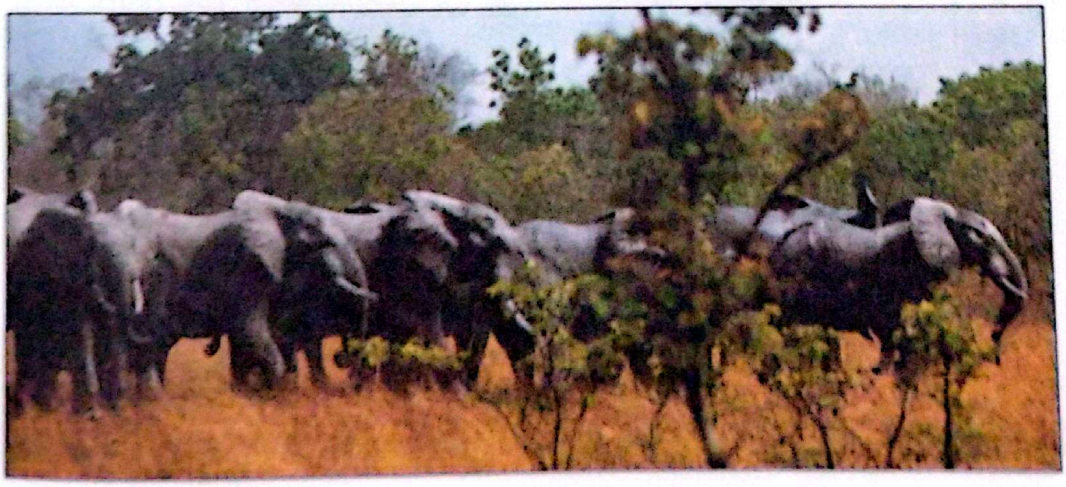


Los niveles de organización de la materia viva van desde el átomo hasta el ecosistema, pasando por el nivel celular y el orgánico, como queda esquematizado arriba.

NIVEL ECOLÓGICO

La vida de los organismos es imposible sin la interacción entre sí para formar niveles de organización más complejos que los descritos hasta ahora. Así, los individuos de una especie que habitan una determinada área geográfica constituyen una **población** y las diferentes poblaciones que habitan dicha área interactúan entre sí para formar una **comunidad**.

Una comunidad junto con el medio en que vive constituye un **ecosistema**, unidad de organización fundamental de la **ecología**. Las relaciones de dependencia existentes entre los componentes de una comunidad biológica y entre éstos y el medio abiótico que les rodea pueden ser muy estrechas, de modo que cualquier alteración del equilibrio puede poner en peligro la supervivencia de las especies que pueblan el ecosistema.



La población de elefantes de una determinada área geográfica interactúa con las otras poblaciones (animales y vegetales) para formar una comunidad biológica.

Escaneado con CamScanner

El origen de la vida. La biosfera

3

Las primeras formas de vida consistieron probablemente en simples filamentos de ácido nucleico con capacidad para transcribir información genética y se nutrían de la materia orgánica presente en el caldo primitivo.

La aparición de la vida es considerado por la mayoría de los biólogos como un paso más en el proceso evolutivo del universo, y en particular de la Tierra como parte integrante del mismo. Se calcula que nuestro planeta se formó hace aproximadamente 4.500 millones de años, pero las rocas formadas en los primeros 1.000 millones de años han desaparecido por completo, por lo que las teorías sobre el origen de la vida, pertenecen a la categoría de hipótesis.

EVOLUCIÓN ABIÓTICA

La fuente inicial de toda materia radica en la energía cósmica a partir de la cual se formó el universo. Los siguientes pasos evolutivos consisten en la formación de materia mineral o inorgánica, para llegar a la materia orgánica y de ésta a los primeros seres vivos. A partir del primer organismo vivo se inicia la llamada evolución biológica.

Todos los seres vivos presentan una constitución química similar, formada fundamentalmente por unos pocos elementos organizados en una serie de compuestos químicos complejos, los principios inmediatos (glúcidos, lípidos, prótidos) que constituyen la materia viva. A lo largo de la evolución química o abiótica se fueron agrupando y seleccionando estos materiales, formando a grandes rasgos tres etapas evolutivas.

Evolución de la atmósfera primitiva

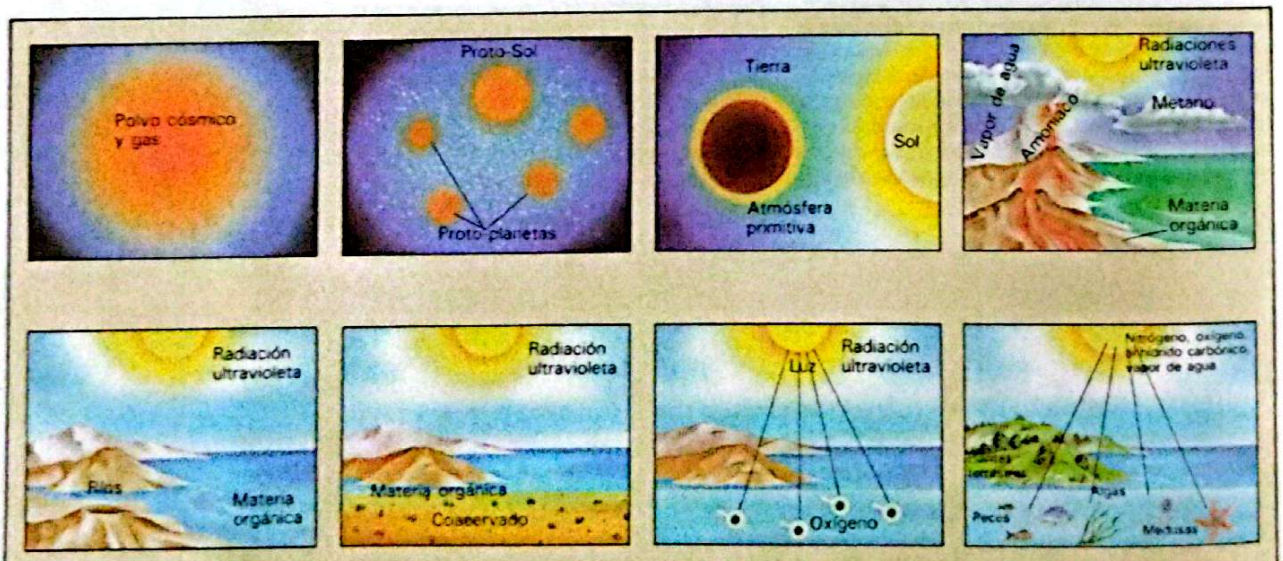
La primitiva atmósfera terrestre carecía prácticamente de oxígeno libre (era anaerobia) y estaba formada, pues, por compuestos reducidos, es decir combinados con el hidrógeno, a diferencia de la atmósfera actual, que se halla oxidada. Había cuatro gases principales -metano, amoníaco, vapor de agua, hidrógeno- y también helio y neón.

Las radiaciones solares, incluidas las ultravioleta, atravesaban la atmósfera sin dificultad al no existir la capa de ozono de la actualidad. La energía de estas radiaciones transformó lentamente la atmósfera reducida y anaerobia en una oxidada y aerobia, rica en oxígeno libre y en nitrógeno.

Las primeras moléculas orgánicas y el caldo primitivo

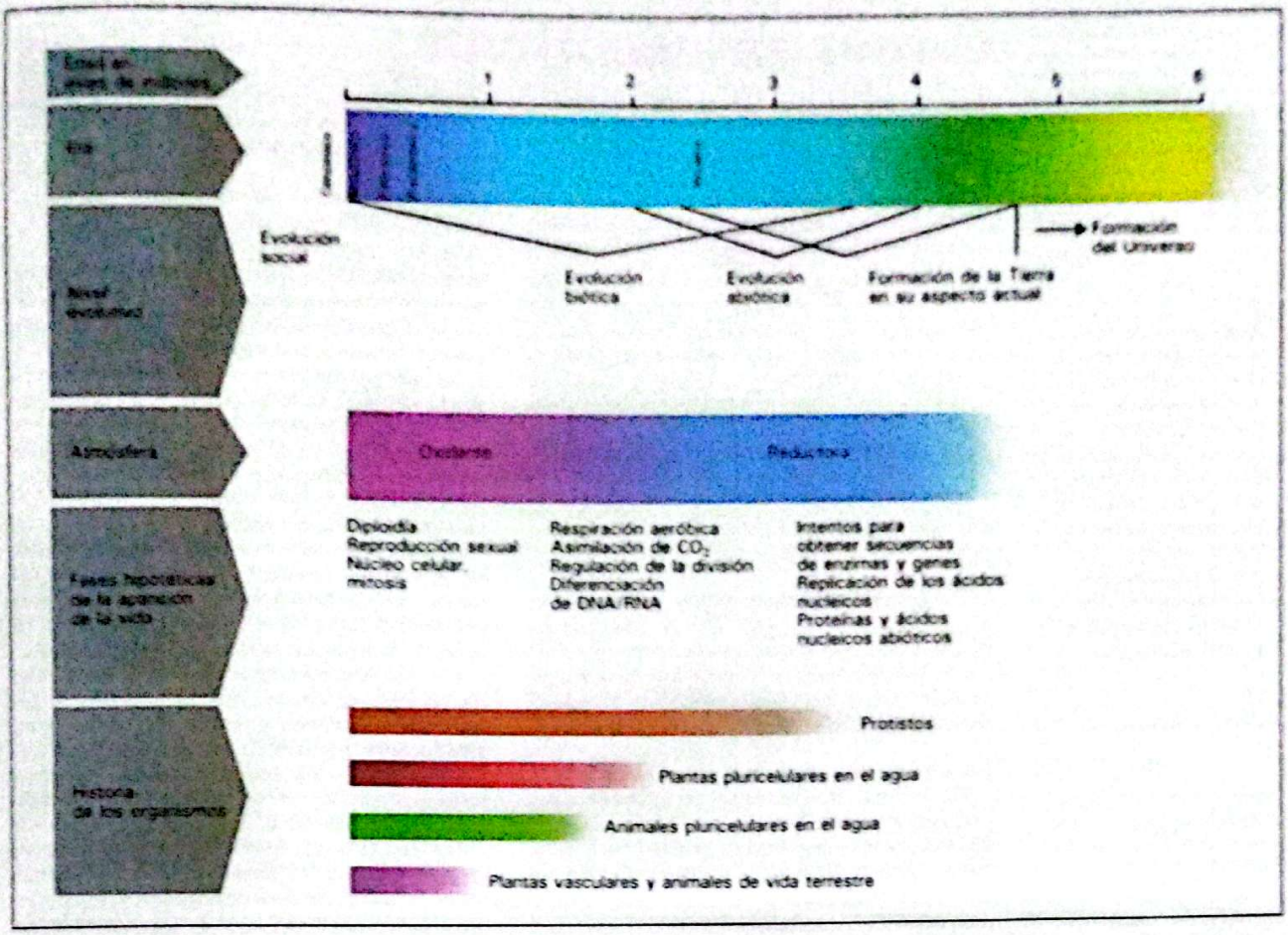
Bajo las condiciones que reinaban en la atmósfera primitiva, las fuentes de energía principales eran los **rayos ultravioleta**, las **radiaciones radiactivas** y el **calor** procedentes de la desintegración de los elementos radiactivos, el calor desprendido en las abundantes erupciones volcánicas y las descargas eléctricas de las tormentas.

Las primeras moléculas orgánicas -probablemente el **ácido clanhídrico** (HCN) y el **formaldehído** (CHOH)- se formaron por recombinación de los radicales atómicos liberados en la descomposición de las moléculas de los gases primitivos a expensas de las fuentes



La vida tuvo su origen en el seno de las aguas marinas. La atmósfera primitiva, carente prácticamente de oxígeno libre, evolucionó a una atmósfera rica en este elemento y en nitrógeno. Las primeras moléculas orgánicas se fueron acumulando en el mar, formándose el caldo primitivo donde surgieron los coacervados y más tarde los primeros organismos, que fueron heterótrofos y anaerobios.

Escaneado con CamScanner



La evolución es un concepto cósmico, que se inicia con la formación del universo. La aparición de la vida se hizo posible al evolucionar la atmósfera de reductora a oxidante: con ello se inicia la evolución biótica.

de energía citadas. Estas primeras moléculas fueron acumulándose en los mares primitivos, protegidas de posibles oxidaciones y de los rayos ultravioleta, evolucionando posteriormente hacia moléculas orgánicas más complejas, como **ribosa**, **aminoácidos**, **purinas**, **pirimidinas**, que son los pilares básicos para la formación de *azúcares*, *proteínas* y *ácidos nucleicos*.

El mar primitivo se convirtió así en lo que se ha llamado **caldo primitivo** en el que, a lo largo de un proceso lento de autoselección permanecieron aquellas moléculas más estables que darían lugar, por **polimerización**, a las complejas **macromoléculas orgánicas**.

Los coacervados

El próximo paso en la evolución de los materiales orgánicos sería lograr la individualización que caracteriza a los seres vivos y que los mantiene aislados (por alguna especie de membrana) del medio que les rodea. La hipótesis de los coacervados (propuesta por Oparin) explicaría el proceso mediante el cual las macromoléculas, separadas del caldo primitivo de origen abiótico, pueden haberse reunido espontáneamente de múltiples formas, constituyendo agregados a modo de pequeñas gotas, rodeados de una capa molecular que desempeña el papel de membrana que los aísla del medio exterior. Estos agregados se hallarían, no obstante, en equilibrio con la solución del caldo primitivo y, por una especie de metabolismo elemental, podrían asimilar ciertos elementos.

LOS EUBIONTOS: LOS PRIMEROS ORGANISMOS

Algunos de estos coacervados tendrían ácidos nucleicos y las enzimas necesarias para su replicación. Muchos serían inestables: sólo aquellos que lograron permanecer estables pudieron seguir la trayectoria evolutiva hacia el primer ser vivo, dando paso a la evolución biológica. Estas formas tan primitivas de vida, reducidas prácticamente a un filamento de ácido nucleico con capacidad para transcribir información genética, han recibido el nombre de eubiontos.

Los primeros organismos vivos fueron heterótrofos y anaerobios (características de las fermentaciones), y se nutrían de la materia orgánica presente en el caldo primitivo. Al agotarse esta reserva nutritiva, dado que la transformación de la atmósfera dificultaba la síntesis de nueva materia orgánica, apareció la fotosíntesis en un largo proceso adaptativo para sobrevivir de forma autótrofa. Con ello la biosfera se enriqueció en oxígeno y fue posible la vida aerobia, así como la nutrición heterótrofa a expensas de la materia sintetizada por los organismos autótrofos. Por último, la formación de la capa de ozono hizo posible la colonización de las tierras emergidas.

Escaneado con CamScanner

Cómo se clasifican los seres vivos

4

La clasificación natural de los seres vivos refleja el árbol genealógico de los distintos reinos. La unidad fundamental de clasificación es la especie. Todos los componentes de un mismo grupo taxonómico son descendientes de una misma especie ancestral común.

La evolución conduce a una diversificación de las formas de vida, dando lugar a una gran cantidad de tipos de organización en todo el mundo viviente. Para su estudio, el hombre se ha visto obligado a ordenar y clasificar todos los seres vivos conocidos: la rama de la biología dedicada a la nomenclatura y clasificación de los seres vivos se llama **taxonomía.**

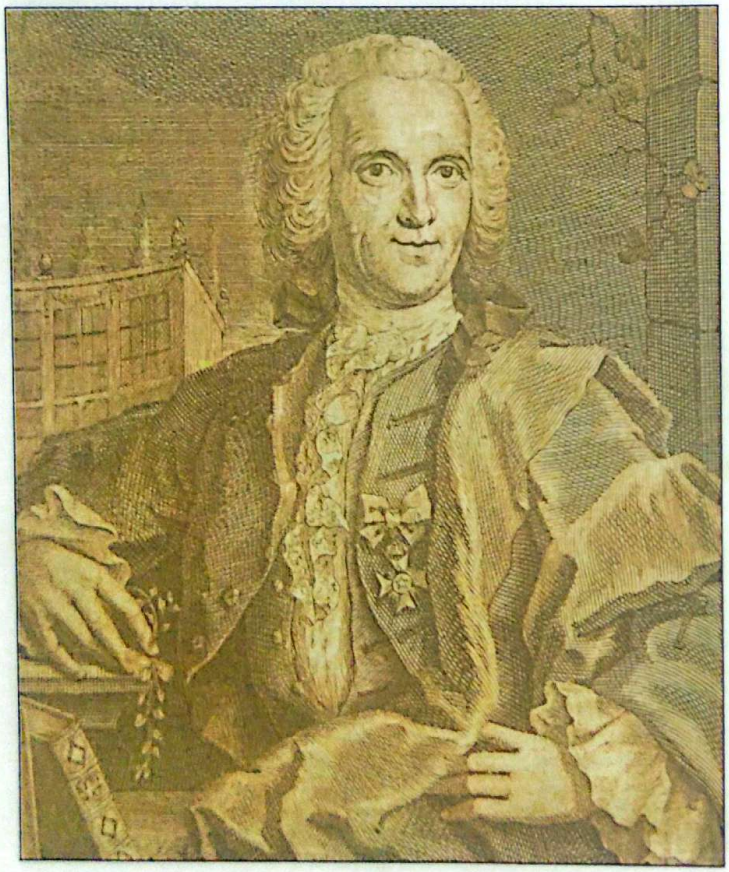
EL SISTEMA NATURAL DE CLASIFICACIÓN

El sistema de clasificación de los seres vivos comúnmente utilizado se basa en las **homologías**, de modo que se sitúan en un mismo grupo los organismos que las presenten. De esta forma la clasificación refleja el **árbol genealógico** de los distintos reinos.

La especie

La unidad fundamental de clasificación –utilizada ya por Linneo– es la especie, definida como un conjunto de poblaciones naturales cuyos individuos son semejantes en sus características estructurales y funcionales, que sólo se reproducen o se pueden reproducir por apareamiento entre ellos y que comparten una ascendencia común.

La nomenclatura generalmente adoptada para la especie es la binomial, que consiste en el nombre del género al cual pertenece (en latín y con la inicial mayúscula) seguido del nombre específico (en latín y minúscula).



Linneo (1707-1778), autor de la nomenclatura utilizada para la clasificación de las especies.

Las categorías taxonómicas

La clasificación natural establece una serie de grupos o taxones en disposición jerárquica, dando prioridad a las características constitucionales sobre las adaptativas, siguiendo la línea evolutiva de diversificación.

Así, las especies íntimamente emparentadas se agrupan en una unidad superior, el **género**, los distintos géneros afines integran una **familia**, las familias se agrupan para formar **órdenes**, los órdenes forman **clases** y éstas se reúnen en **tipos**, **troncos** o **phyla** (singular *phylum* o filum).

Las similitudes entre especies del mismo género son más evidentes que las existentes entre especies de distintos géneros, así como también se asemejarán más dos especies de distintos géneros que pertenecen a la misma familia que dos especies de géneros pertenecientes a distintas categorías taxonómicas. Y el mismo criterio se cumple para todos los niveles taxonómicos.

Las subespecies

La separación geográfica de poblaciones de una misma especie conduce a características propias de subespecies o variedades (o razas). Aunque la interfecundidad entre los individuos de una misma subespecie es más frecuente que entre individuos de razas diferentes, la capacidad reproductora intraespecífica persiste.

Si el aislamiento desemboca en la incapacidad de hibridación por evolución divergente, se asiste al fenómeno llamado **especiación**, es decir a la creación de nuevas especies.

LA BIOQUÍMICA Y EL GRADO DE PARENTESCO

Cualquier grupo taxonómico, en un sistema de clasificación natural, debe ser **monofilético**, lo que quiere decir que todos sus componentes son descendientes de una misma especie ancestral común.

Si bien en los organismos fósiles se hace difícil garantizar este requisito, en las formas vivas ello es posible mediante técnicas de **comparación de las proteínas**. Efectiva-

Escaneado con CamScanner

BIBLIOTECA

mente, los cambios en la secuencia de aminoácidos de muchas proteínas, como por ejemplo la albúmina o la hemoglobina sólo pueden generarse por mutación genética. Por tanto, cuanta más concordancia de las secuencias de aminoácidos mayor es la cercanía del parentesco.

Aunque el método más exacto de comparación consiste en **la determinación de las secuencias de aminoácidos**, al ser ésta muy costosa y laboriosa, suelen utilizarse otras técnicas más simples, como las **técnicas serológicas** basadas en la comparación inmunológica de las proteínas.

LA CATEGORÍA SUPERIOR: EL DOMINIO

El abismo existente entre cualquier organismo carente de núcleo celular y de la mayoría de los orgánulos citoplásmicos y cualquier organismo nucleado es enorme comparado con las diferencias que separan a los demás grupos de organismos nucleados. De aquí que los taxónomos hayan establecido una categoría taxonómica **superior al reino**, el dominio.

De este modo, el reino **Monera**, constituido por organismos unicelulares carentes de núcleo y otros orgánulos, se incluye en el dominio **Procariota**: son las *Bacterias* y las *Cianobacterias*. Todos los demás reinos (*Protista, Fungi, Plantae, Animalia*) pertenecen, en cambio, al dominio **Eucariota**.

PRINCIPALES CATEGORÍAS USADAS EN LA CLASIFICACIÓN DE LOS SERES VIVOS

categoría	coliflor	gato doméstico	hombre
reino	vegetal	animal	animal
división/fílum	traqueofitas	cordados	cordados
subfílum/div.	espermatofitas	vertebrados	vertebrados
clase	angiospermas	mamíferos	mamíferos
subclase	dicotiledóneas	euterios	euterios
orden	readales	carnívoros	primates
familia	crucíferas	félidos	homínidos
género	*Brassica*	*Felis*	*Homo*
especie	*oleracea*	*catus*	*sapiens*
subespecie	*botrytis*	diversas razas	*sapiens*

Las diferentes razas de perros son fecundas entre sí, ya que son subespecies de la misma especie. El gato doméstico *(Felis catus)* constituye otra especie del mismo orden (carnívoros) y también presenta diversidad de razas.

Escaneado con CamScanner

Los cinco reinos del mundo viviente

5

El reino monera está compuesto por todos los organismos procariotas. Los eucariotas forman cuatro reinos: protistas o seres unicelulares, hongos, vegetales y animales. Los troncos en los que se diversifica cada reino constituyen los diferentes fila o divisiones.

En el sistema de clasificación natural de los seres vivos, la categoría taxonómica superior es el *reino*, aunque los biólogos han establecido una categoría superior, el *dominio*, para separar los organismos **eucariotas** (dominio Eucariota) de los **procariotas** (dominio Procariota), formando estos últimos un único reino, el reino *Monera*.

REINO MONERA

Todos los organismos procariotas pertenecen al reino **Monera** y son unicelulares, aunque pueden formar colonias de células independientes. Carecen de orgánulos delimitados por membranas y el material genético está contenido en una sola molécula de ADN sin que la envuelva membrana alguna. Probablemente los únicos habitantes de la Tierra durante casi 3.000 millones de años fueron miembros de este grupo. El reino Monera comprende las Bacterias y las Cianobacterias, estas últimas también llamadas algas verdeazules.

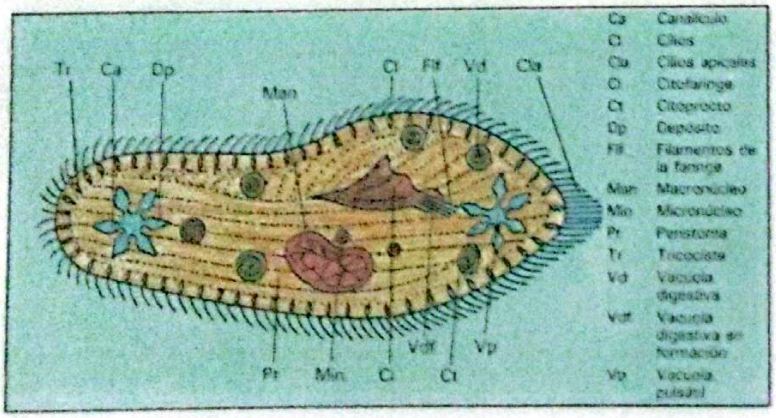
- Las **Bacterias** tienen una longitud máxima de 10 micrómetros y habitan en todos los medios y hábitats del mundo, comportándose como desintegradores en su mayoría; algunas son autótrofos quimiosintéticos; otras son patógenas.
- Las **Cianobacterias** son en su mayoría autótrofos fotosintéticos, gracias a unas membranas internas (*laminillas fotosintéticas*) que contienen clorofila y las enzimas necesarias para la fotosíntesis. Son generadores de oxígeno y de materia orgánica, y algunas especies son fijadoras de nitrógeno.

REINO PROTISTA

Los protistas son eucariotas unicelulares o coloniales, acuáticos, que se reproducen por división celular simple pero también pueden aparearse sexualmente. Sus orgánulos celulares son muy complejos y especializados en múltiples tareas. Comprenden los Protozoarios y las Algas eucariotas. Algunos taxonomistas adoptan la denominación de Protistas tipo animal y Protistas tipo vegetal, respectivamente.

- Los **Protozoarios** son microscópicos y su metabolismo se basa en la difusión. Están en la base de muchas cadenas tróficas, formando una parte importante del zooplancton. Algunas especies son patógenas, como la causante del paludismo.
- Las **Algas eucariotas** son importantes productores en ecosistemas marinos y dulceacuícolas. Además de clorofila, poseen otros pigmentos.

El paramecio es un ejemplo típico de protozoario del reino Protista, integrado por eucariotas unicelulares.



REINO FUNGI (HONGOS)

Los hongos son eucariotas de tipo vegetal, aunque carecen de clorofila y no son fotosintéticos: son heterótrofos que absorben los nutrientes a través de la membrana y pared celulares. Unos son desintegradores (saprobiontes) y otros son parásitos. Se reproducen por esporas, que se forman por mecanismos asexuales y sexuales, y se agrupan en dos divisiones: los mohos gelatinosos y los hongos verdaderos.

- Los **mohos gelatinosos** (división **Mixomicofita**) presentan características de protistas durante una parte de su ciclo vital, pareciéndose a las amibas, y en una fase de la vida ingieren alimento en vez de absorberlo.
- Los **hongos verdaderos** comprenden mohos, levaduras y setas. Su cuerpo está formado por *hifas* filiformes que constituyen los *micelios*. Estos micelios se infiltran en el cuerpo o en el sustrato del cual se alimentan y a veces son invisibles, como sucede en las setas.

REINO PLANTAE (VEGETALES)

El reino vegetal comprende los eucariotas pluricelulares fotosintéticos, que desempeñan un papel de primer orden en la biosfera por su función de productores primarios de materia orgánica y por constituir una fuente importante de oxígeno en la atmósfera. Son de crecimiento indeterminado y sus paredes celulares son de celulosa. Forman tres grupos bien diferenciados: las Algas, las Briofitas y las Traqueofitas o Plantas vasculares.

Algas

Son las algas fotosintéticas, importantes productores de los ecosistemas acuáticos

Escaneado con CamScanner

Presentan alternancia de generaciones y algunas (particularmente del grupo de las clorofitas) son unicelulares. Comprenden tres divisiones: **Clorofita** o *Algas verdes*, **Feofita** o *Algas pardas* y **Rodofita** o *Algas rojas*.

Briofitas

Son las plantas terrestres no vasculares, que no tienen tallos, raíces ni hojas verdaderos y que dependen de la difusión para realizar su metabolismo, pues carecen de sistema circulatorio. El gametofito es la forma dominante. Las briofitas son productores pioneros en la colonización de nuevos hábitats y comprenden los **Musgos** y las **Hepáticas**.

Traqueofitas

Son las plantas bien adaptadas a la vida terrestre y aérea, con sistemas circulatorios bien desarrollados y con tallos, raíces y hojas verdaderos. El esporofito es la forma dominante. Todas se consideran plantas superiores: unas carecen de semillas (el gametofito se desarrolla como una planta diminuta independiente; las esporas se forman en el envés de hojas del esporofito), como los **helechos**, los **equisetos** y los **licopodios**; mientras que otras presentan el embrión encerrado dentro de una semilla. Esta semilla permanece desnuda en las **Gimnospermas** (*Coníferas*, *Cicadales*, etc.) y envuelta por una cubierta carnosa o dura, el fruto, en las **Angiospermas**.

REINO ANIMALIA (ANIMALES)

Los animales son eucariotas pluricelulares y heterótrofos, consumidores de la biosfera. Carecen de paredes celulares, son particularmente sensibles a los estímulos por disponer de un tejido nervioso especializado para la coordinación y en su mayoría son capaces de moverse por contracción muscular.

Para el establecimiento de las relaciones filogenéticas, se suelen agrupar los phyla animales en dos grandes apartados, **acelomados** y **celomados**, según carezcan de cavidad corporal (*celoma*) o presenten dicha cavidad, que no es sino el espacio que hay entre la pared del cuerpo y los órganos internos.

Desde el punto de vista embriológico, se distingue una tercera categoría de animales **pseudocelomados** cuya cavidad corporal se desarrolla entre el *mesodermo* y el *endodermo*. En los animales celomados, el celoma está revestido por completo por los tejidos derivados del mesodermo.

Acelomados

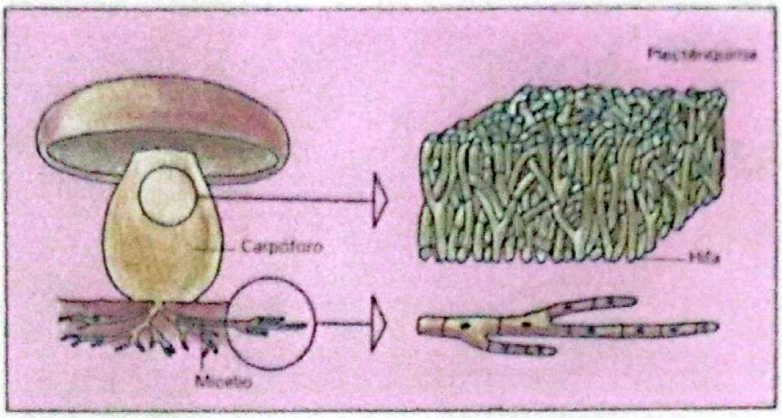
Son los invertebrados inferiores y comprenden los phyla: **Poríferos** o *Esponjas*, **Cnidarios**, **Ctenóforos**, **Platelmintos**, **Nemertinos**, **Nematodos** y **Rotíferos**.

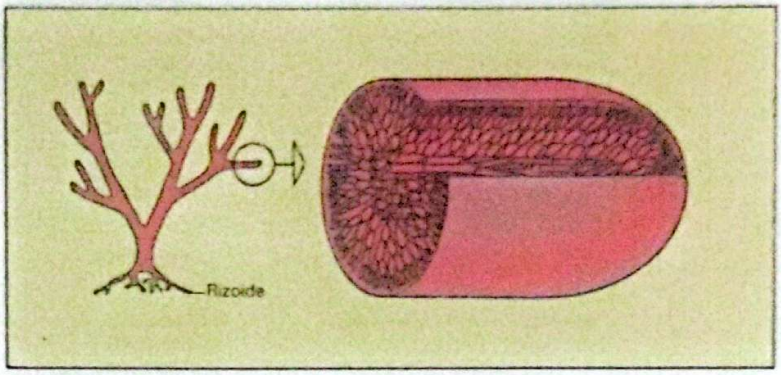
Celomados

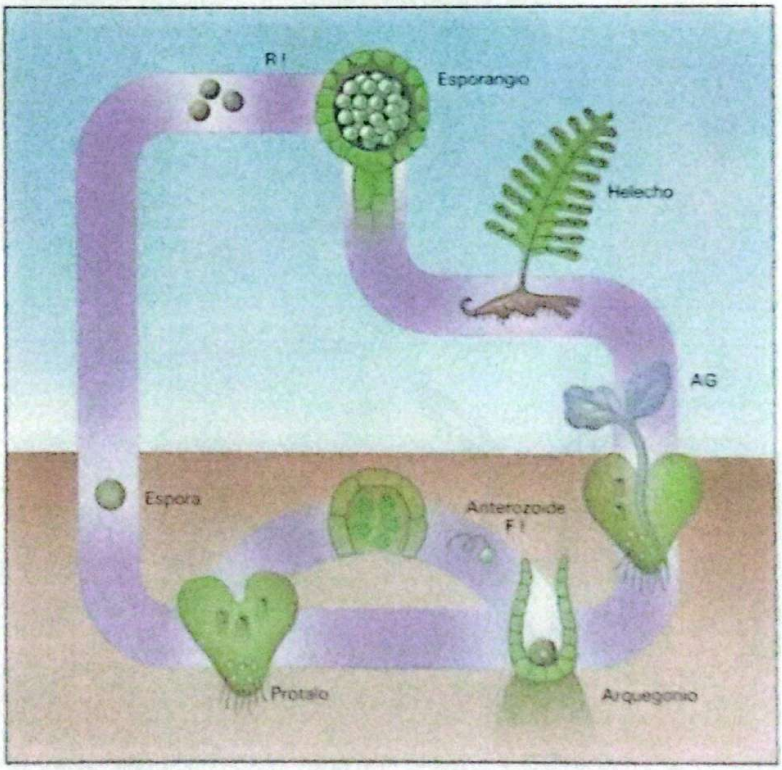
Se subdividen en Protostomados y Deuterostomados.

• Los **Protostomados** comprenden los phyla: **Moluscos**, **Anélidos**, **Artrópodos** y **Onicóforos**. En todos ellos la boca se forma a partir del primer orificio del intestino embrionario y el celoma ocupa el espacio comprendido entre el tubo digestivo y la pared externa del cuerpo.

• Los **Deuterostomados** comprenden los phyla: **Equinodermos** y **Cordados**. En todos ellos la boca se forma a partir de un segundo



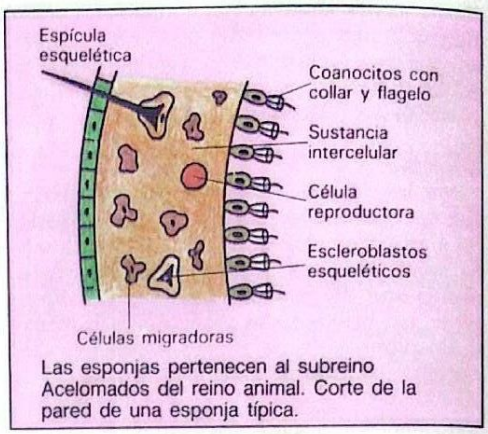




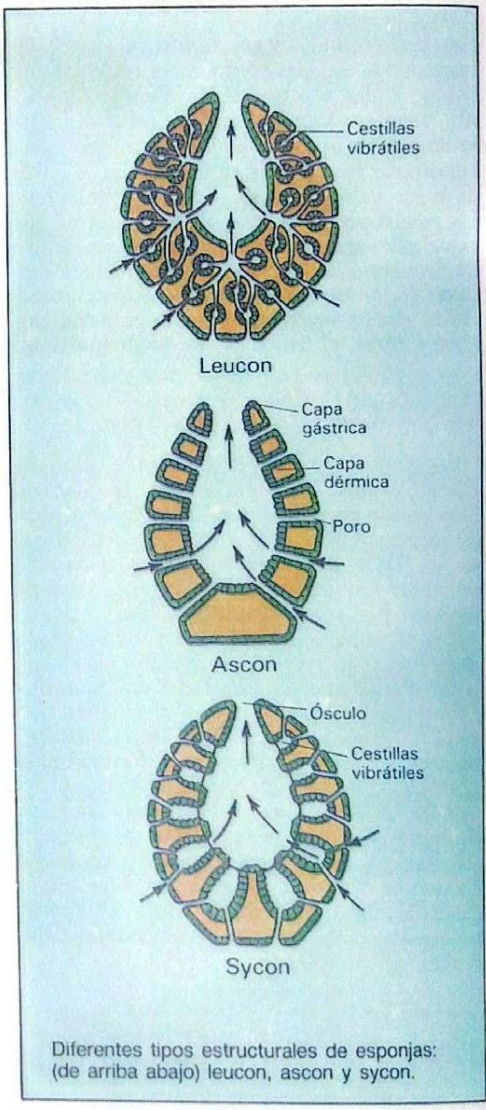
Estructura del tejido del cuerpo y de la falsa raíz de un hongo (arriba) y de un alga roja (centro). Esquema del ciclo vital de un helecho (abajo), división pteridofitas del reino vegetal.

Escaneado con CamScanner

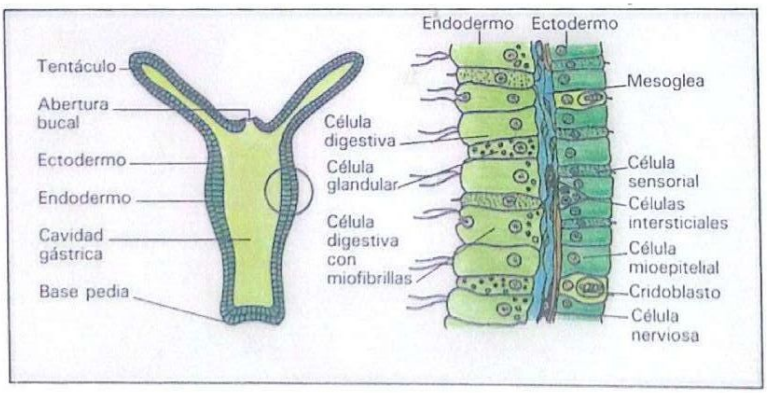
Dominio	Reino	Subreino	División o Filum
Procariota	Monera		– Cianobacterias o algas verdeazules – Bacterias
Eucariota	Protista	Protofitas	– Crisofitas – Pirrofitas
		Protozoarios	– Mastigoforos – Sarcodinos – Ciliados – Suctorios – Esporozoos
	Fungi (hongos)		– Mixomicófitos (hongos gelatinosos) – Eumicofitos (hongos verdaderos)
	Plantae (vegetales)	Algas	– Clorofitas (algas verdes) – Feofitas (algas pardas) – Rodofitas (algas rojas)
		Plantas terrestres no vasculares	– Briofitas
		Plantas vasculares (Traqueofitas)	– Pteridofitas – Espermatofitas
	Animalia (animales)	Acelomados	– Poríferos – Conidarios – Ctenóforos – Platelmintos – Nemertinos – Nematodos – Rotíferos
		Celomados Protostomados	– Moluscos – Anélidos – Artrópodos – Onicóforos
		Celomados Deuterostomados	– Equinodermos – Cordados (Urocordados, Cefalocordados y Vertebrados)



Las esponjas pertenecen al subreino Acelomados del reino animal. Corte de la pared de una esponja típica.



Diferentes tipos estructurales de esponjas: (de arriba abajo) leucon, ascon y sycon.



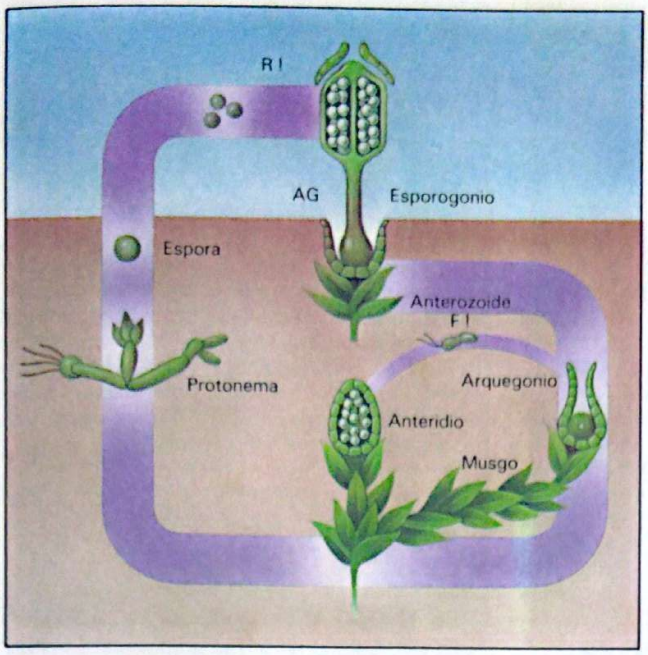
Forma de un pólipo (animal acelomado) y detalle en sección de la estructura celular de la pared.

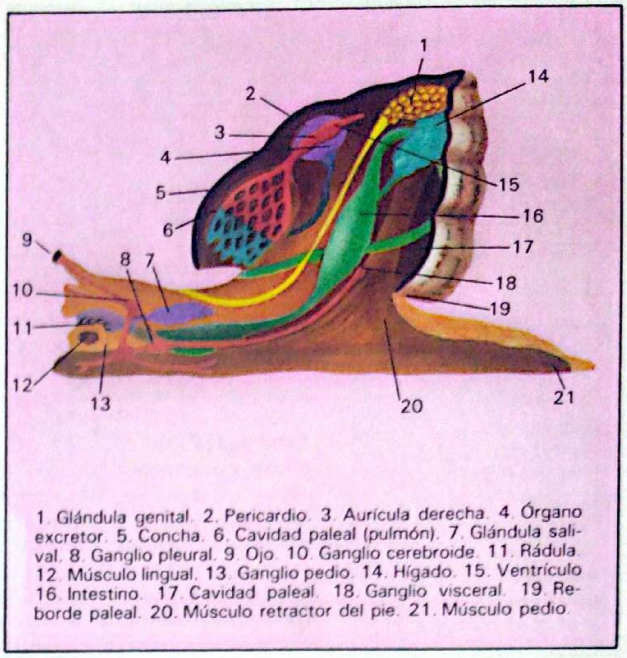
orificio que se produce en el embrión; el celoma se forma a partir de cavidades situadas dentro de las evaginaciones mesodérmicas.

Los **Cordados** se caracterizan por presentar una especie de varilla dorsal flexible, la *notocorda*, en algún momento de su ciclo vital; por tener un *cordón nervioso* único y hueco en posición dorsal; y por presentar *hendiduras branquiales faríngeas* en algún momento de su ciclo vital.

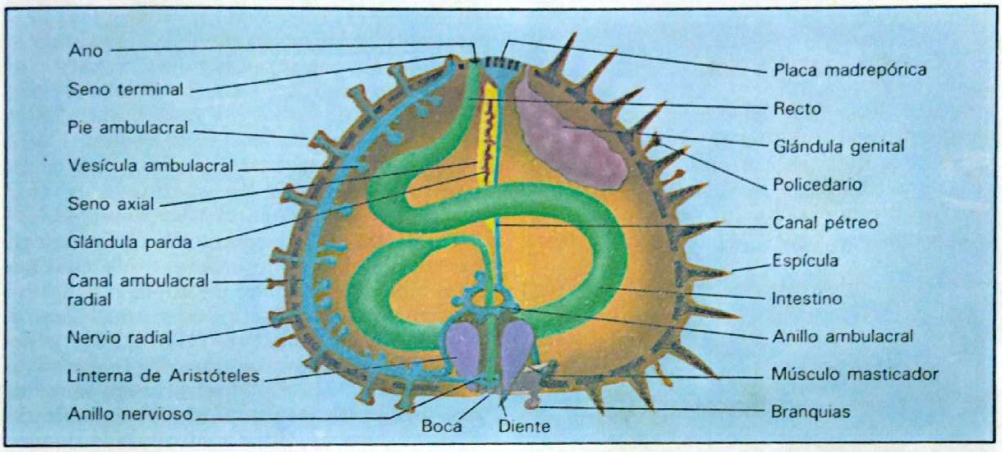
Los **Vertebrados** constituyen el subphylum más evolucionado de los Cordados (los otros dos subphyla son los *Urocordados* y los *Cefalocordados*) y comprende todos los animales que poseen columna vertebral, como los *Reptiles*, los *Peces*, las *Aves* y los *Mamíferos*.

Escaneado con CamScanner

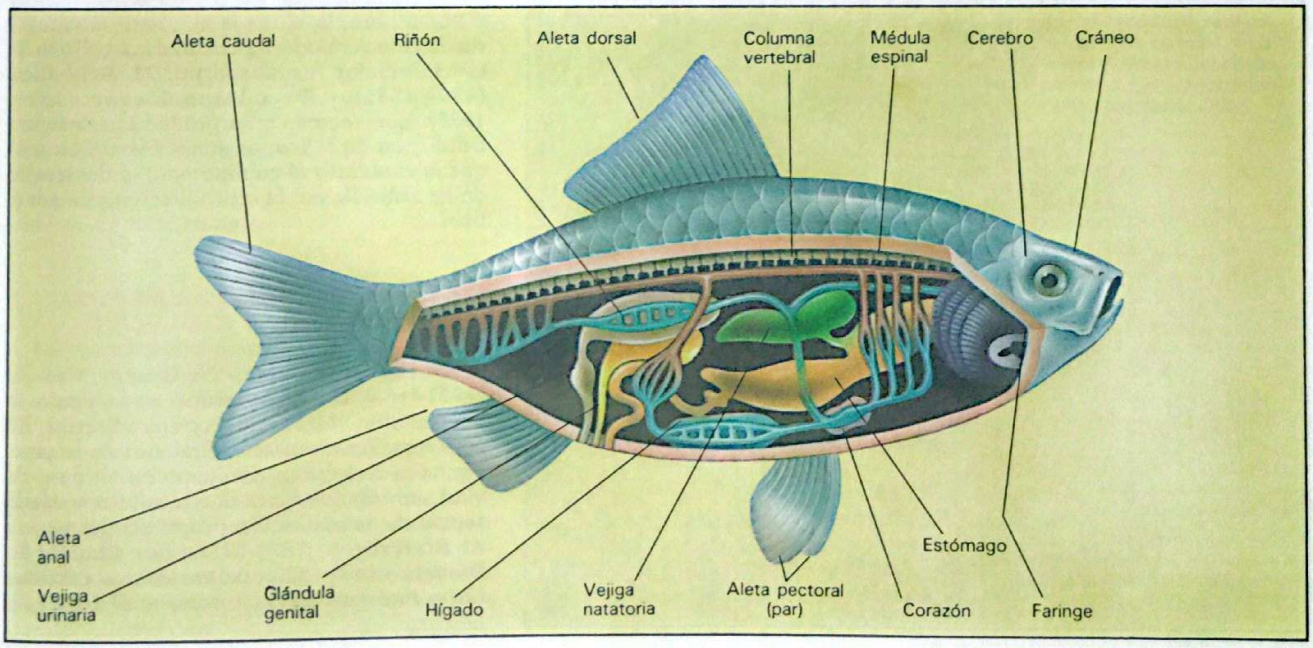




1. Glándula genital. 2. Pericardio. 3. Aurícula derecha. 4. Órgano excretor. 5. Concha. 6. Cavidad paleal (pulmón). 7. Glándula salival. 8. Ganglio pleural. 9. Ojo. 10. Ganglio cerebroide. 11. Rádula. 12. Músculo lingual. 13. Ganglio pedio. 14. Hígado. 15. Ventrículo 16. Intestino. 17. Cavidad paleal. 18. Ganglio visceral. 19. Reborde paleal. 20. Músculo retractor del pie. 21. Músculo pedio.



Arriba, izquierda, ciclo vital de un musgo (planta terrestre sin tejido vascular). Arriba, derecha, molusco (animal celomado protostomado). A la izquierda, erizo de mar (animal celomado deuterostomado). Abajo, pez (vertebrado, filum cordados).



Escaneado con CamScanner

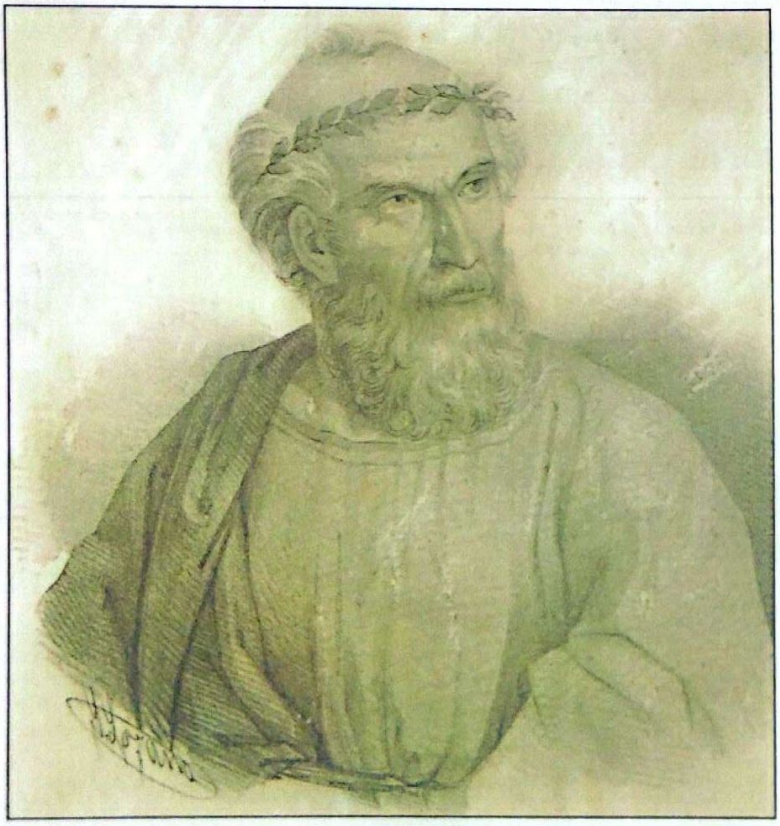
Historia de la Biología 6

La historia de la Biología transcurre estrechamente ligada a los progresos tecnológicos que han permitido avanzar en la investigación. En este sentido fueron decisivos el microscopio óptico y el microscopio electrónico.

Hasta el desarrollo del microscopio a finales del siglo XVI, el conocimiento biológico pertenecía al campo de otras disciplinas como la Botánica, la Zoología, la Anatomía y la Medicina, e incluso la Filosofía y la Metafísica. Los hitos más destacados de «la Edad Antigua» de la Biología son la extensa obra de **Aristóteles** (384 a.C.-322 a.C.) sobre la anatomía y comportamiento de los animales, las obras médicas de **Hipócrates** (n. 460 a.C.), **Galeno** (130-200) y **Dioscórides** (siglo I) y la *Historia natural* de **Plinio el Viejo**, seguidos en el siglo XVI por *De humani corporis fabrica* de **André Vesalio** (1514-1564), que sentó las bases de la anatomía moderna, y *De motu cordis et sanguinis* de **William Harvey**, que dio a conocer la circulación de la sangre.

LOS MICROSCOPISTAS

Con el desarrollo del microscopio, el instrumento más directamente ligado al progreso de la Biología y atribuido a varios ópticos como **Jansen** (1590), **Drebbel** (1610) o Van Leeuwenhoek, se iniciaron dos de las más largas polémicas de la historia natural: una sobre la existencia o no de la **generación espontánea**; la otra enfrentó a **preformacionistas**, que defendían la existencia de un individuo ya formado dentro del huevo previa al desarrollo embrionario, y **epigenetistas**, que defendían el desarrollo a partir de una masa amorfa de materia viva por diferenciación de las diversas partes del cuerpo.



Galeno (h. 129 d. C.-h. 201 d.C.), médico griego, contribuyó al conocimiento biológico mediante vivisecciones de animales, que a veces realizaba públicamente.

EL NACIMIENTO DE LA BIOLOGÍA EXPERIMENTAL. LA MICROBIOLOGÍA Y LA TEORÍA CELULAR

En el siglo XVIII aparecen los auténticos biólogos experimentales, entre ellos **Réamur** (1683-1757) y **Spallanzani** (1729-1799), que combatieron las **teorías espontaneístas** de la época según las cuales muchos organismos se originarían espontáneamente a partir de carne corrompida y otros materiales en descomposición, teorías que fueron barridas en el siglo XIX por las teorías de **Pasteur** (1822-1895) sobre la naturaleza microbiana de las fermentaciones y de las enfermedades infecciosas. Con ello nacía la **Microbiología**.

Paralelamente al desarrollo de la biología experimental, la nomenclatura y la clasificación biológicas reciben un impulso definitivo por parte de dos grandes naturalistas: el conde francés **Buffon** (1707-1788) y del sueco **Linneo** (cuyo nombre original era Carl von Linné) (1707-1778), el primero autor de una prolija *Historia natural* y el segundo del *Systema naturae*, donde introdujo la nomenclatura binomial de los organismos.

Por último, la biología adquiere la categoría de ciencia moderna con el desarrollo de la **teoría celular** formulada por **M. Schleiden** (1804-1881) y **Theodor Schwann** (1810-1882), que reconocía la unidad anatómica y fisiológica de todos los seres vivos. Con ello quedaba abierto el camino para el desarrollo de la embriología, la reproducción y la genética.

MENDEL Y DARWIN: LA GENÉTICA Y LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN

Los descubrimientos de **Gregor Mendel** (1822-1884) sobre la herencia genética y la transmisión de caracteres hereditarios no sólo representaron el nacimiento de la ciencia de la **Genética**, sino también un paso de vital importancia para el advenimiento de la **teoría de la evolución** propuesta, junto con **A. R. Wallace** (1823-1913), por **Charles R. Darwin** (1809-1882), autor de las célebres obras *El origen de las especies* y *El origen del hombre*.

Escaneado con CamScanner

PRINCIPALES ACONTECIMIENTOS EN LA HISTORIA DE LA BIOLOGÍA	
1590	Primer microscopio compuesto
1838	Formulación de la teoría celular en los vegetales (Schleiden)
1840	Formulación de la teoría celular en los animales (Schwan)
1859	Publicación de *El origen de las especies* (Darwin)
1860	Leyes de la herencia (Mendel)
1880	Descubrimiento de la vacuna contra el carbunco y la rabia (Pasteur)
1885	Identificación de los cromosomas
1890	Técnicas de cultivo «in vitro»
1900	Descubrimiento de los grupos sanguíneos (Landsteiner) Teoría de la neurona (Ramón y Cajal)
1915	Teoría cromosómica de la herencia (Morgan-Sutton-Bovery)
1925	Mutagénesis (Müller)
1953	Estructura molecular del ADN (Watson-Crick)
1965	Descubrimiento del código genético (Niremberg-Khorana)
1975	Hibrodomas, anticuerpos monoclonales

LA BIOLOGÍA MOLECULAR

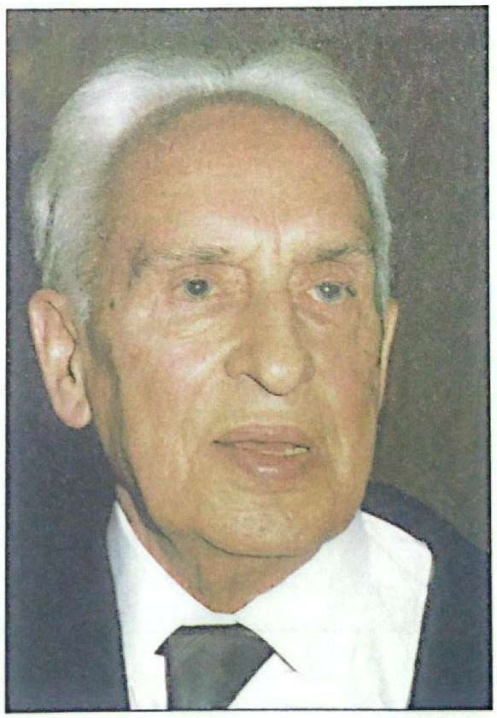
La genética, no obstante, no se consolida hasta el siglo XX con el desarrollo de la **Bioquímica**, que hizo posible el establecimiento de la **teoría cromosómica de la herencia** y el desarrollo de la **Enzimología**.

La publicación en 1953 del modelo de la doble hélice de ADN por parte de **J. Watson** y **H. Crick** marca el principio de la era de la **Biología molecular**, precedida por el nacimiento de una nueva tecnología revolucionaria en la biología, el **microscopio electrónico**, que más tarde hizo posible el descubrimiento del **código genético**, los ribosomas y todos los mecanismos de biosíntesis de proteínas, así como el nacimiento de la nueva ciencia de la **Virología**.

LA BIOTECNOLOGÍA

La posibilidad, a partir de los años setenta, de obtener y purificar grandes cantidades de fragmentos de determinados ADN, así como de sintetizar y secuenciar ADN y proteínas, con las nuevas tecnologías biológicas constituye el último hito alcanzado por la biología hasta nuestros días. Con ello se abren inmensas posibilidades de aplicación industrial que se plantea aceleradamente la **ingeniería genética** en constante auge. Y, paralelamente, una nueva ciencia está surgiendo tímidamente: la **Bioética**.

Pasteur (1822-1895) es considerado el iniciador de la microbiología y luchó para demostrar que los microorganismos son los verdaderos agentes de las enfermedades infecciosas, así como los responsables de las fermentaciones.



Izquierda, el médico y bioquímico español, nacionalizado estadounidense, Severo Ochoa (1905-1993). Sintetizó el ARN y compartió con A. Kornberg el premio Nobel de medicina y fisiología en 1959.

Escaneado con CamScanner

La base química de la vida

7

Toda materia viva está integrada por compuestos químicos similares fundamentales llamados principios inmediatos, que son el agua, las sales minerales, carbohidratos, lípidos y proteínas. Además, aunque en cantidades ínfimas, todos los seres vivos necesitan enzimas, vitaminas y hormonas para sus actividades fisiológicas.

Todas las formas de la materia viva presentan una gran similitud tanto en su composición química como en las reacciones químicas que tienen lugar entre las sustancias de que están formados los organismos.

LOS ELEMENTOS QUÍMICOS DE LA MATERIA VIVA

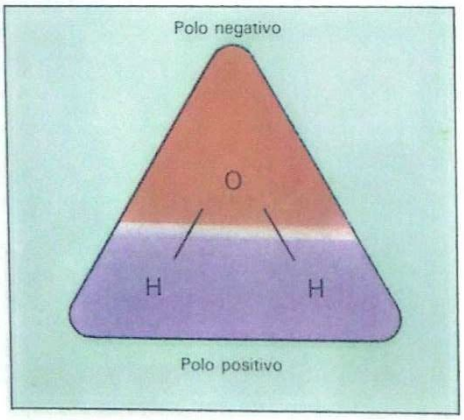
• Los **principales elementos** que constituyen la materia viva son cuatro: **carbono** (C), **oxígeno** (O), **hidrógeno** (H) y **nitrógeno** (N). Todos ellos tienen un peso atómico bajo y tienen facilidad para compartir electrones de sus capas externas para formar enlaces muy estables (**enlaces covalentes**).

El **carbono**, en particular, está en la base de todos los compuestos orgánicos, por lo cual la química orgánica también recibe el nombre de química del carbono. El átomo de este elemento puede formar cuatro enlaces covalentes, no sólo con otros elementos, sino también con otros átomos de carbono para formar **cadenas** que pueden estar ramificadas o no e incluso formar anillos. Además, los átomos de carbono adyacentes pueden formar enlaces sencillos, dobles o triples, según compartan uno, dos o tres pares de electrones de valencia en sus niveles externos.

Otra propiedad de gran interés biológico de los cuatro elementos principales radica en el hecho de que los compuestos químicos que forman presentan a menudo **polaridad**, lo que los hace solubles en agua o capaces de formar emulsiones o dispersiones coloidales.

• Los **segundos elementos**, desde el punto de vista cuantitativo, que componen la materia viva son el **fósforo** (P), **calcio** (Ca), **magnesio** (Mg), **sodio** (Na), **potasio** (K), **azufre** (S) y **cloro** (Cl). Sin embargo, el hecho de que estén presentes en proporciones menores en los tejidos y líquidos vitales no quiere decir que sean, por ello, menos indispensables para la vida.

• Los **oligoelementos** se encuentran en cantidades ínfimas en los organismos vivos, pero su carencia (como también su exceso) puede causar serios trastornos dado que desempeñan papeles de gran trascendencia biológica. Entre otros, los más importantes son el **yodo** (I), **manganeso** (Mn), **hierro** (Fe), **cobre** (Cu), **cobalto** (Co) y **cinc** (Zn).



La molécula de agua es bipolar, gracias a lo cual el agua constituye un disolvente de capital importancia biológica: las moléculas de agua forman un manto de hidratación tanto alrededor de los cationes como de los aniones.

LOS PRINCIPIOS INMEDIATOS

Los compuestos que forman los elementos presentes en la materia viva y que se pueden aislar por medios puramente físicos, es decir sin modificar su estructura molecular, reciben el nombre de principios inmediatos, que pueden ser **inorgánicos** (agua y sales minerales) u orgánicos (carbohidratos, lípidos y prótidos).

El agua y las sales minerales

• El **agua** es el principal componente de los seres vivos desde el punto de vista cuantitativo. La propiedad más importante de la molécula de agua para desempeñar su papel biológico es su **polaridad eléctrica**. La atracción entre el oxígeno negativo y los hidrógenos positivos de las moléculas de agua da lugar a uniones electrostáticas llamadas **puentes de hidrógeno** para formar **polímeros**. Estas uniones se rompen con más facilidad que los enlaces covalentes.

Gracias a esta bipolaridad el agua es el vehículo más idóneo para la circulación de las sustancias nutritivas en el interior de los organismos dadas sus propiedades como disolvente y como fase líquida de las dispersiones coloidales de moléculas no solubles.

Otras propiedades importantes del agua desde el punto de vista biológico son su **elevada tensión superficial** y su **gran conductividad del calor**.

• Las **sales minerales** se encuentran en la materia viva bajo diversos estados. Por ejemplo, en los huesos se encuentran precipitadas, en los ácidos nucleicos asociadas a moléculas orgánicas; pero en general se encuentran disueltas y, por tanto, ionizadas. Estas disoluciones actúan como reguladores del pH, de los fenómenos osmóticos y de la salinidad del medio interno orgánico.

Carbohidratos, lípidos y prótidos

Son los principios inmediatos orgánicos de los seres vivos, compuestos complejos que presentan siempre el elemento carbono. Algunos funcionan como parte estructural de las células y tejidos, otros son metabolizados

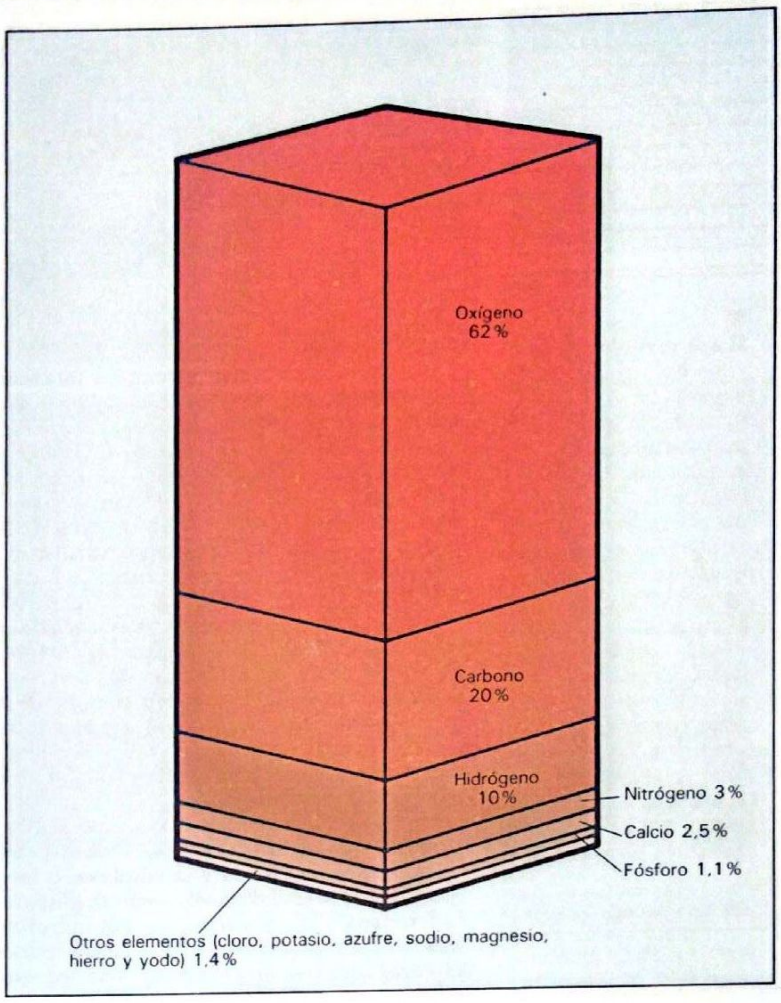
Escaneado con CamScanner

con objeto de generar la energía necesaria para la actividad celular, y otros constituyen o integran las sustancias llamadas biocatalizadoras.

LOS BIOCATALIZADORES

Las reacciones químicas que constantemente tienen lugar en el interior de los organismos vivos deben realizarse de forma controlada y en condiciones biológicas, es decir en condiciones que no alteren el funcionamiento vital normal: un organismo vivo no es un laboratorio y no puede forzar condiciones extremas. Los biocatalizadores son los compuestos orgánicos encargados de la importante misión de controlar y ayudar a que se realicen estas reacciones, y comprenden tres grandes grupos: enzimas, vitaminas y hormonas.

- Las **enzimas** son los catalizadores biológicos por excelencia; todas las conocidas son proteínas y generalmente todas son solubles en agua.
- Las **vitaminas** también desempeñan un papel enzimático, sobre todo al formar parte de la composición de muchas enzimas. Los vegetales pueden sintetizar por sí mismos estas sustancias, pero no ocurre lo mismo con los animales, que de este modo necesitan que estén presentes en su dieta alimenticia.
- Las **hormonas** son los biocatalizadores especializados en establecer correlaciones funcionales de tipo químico y, a diferencia de las vitaminas, son elaboradas por los propios seres vivos, de modo especial en las glándulas endocrinas o de secreción interna.



Principales bioelementos que forman parte de la biosfera expresados en porcentaje de peso. Obsérvese la importancia capital del oxígeno y del carbono.

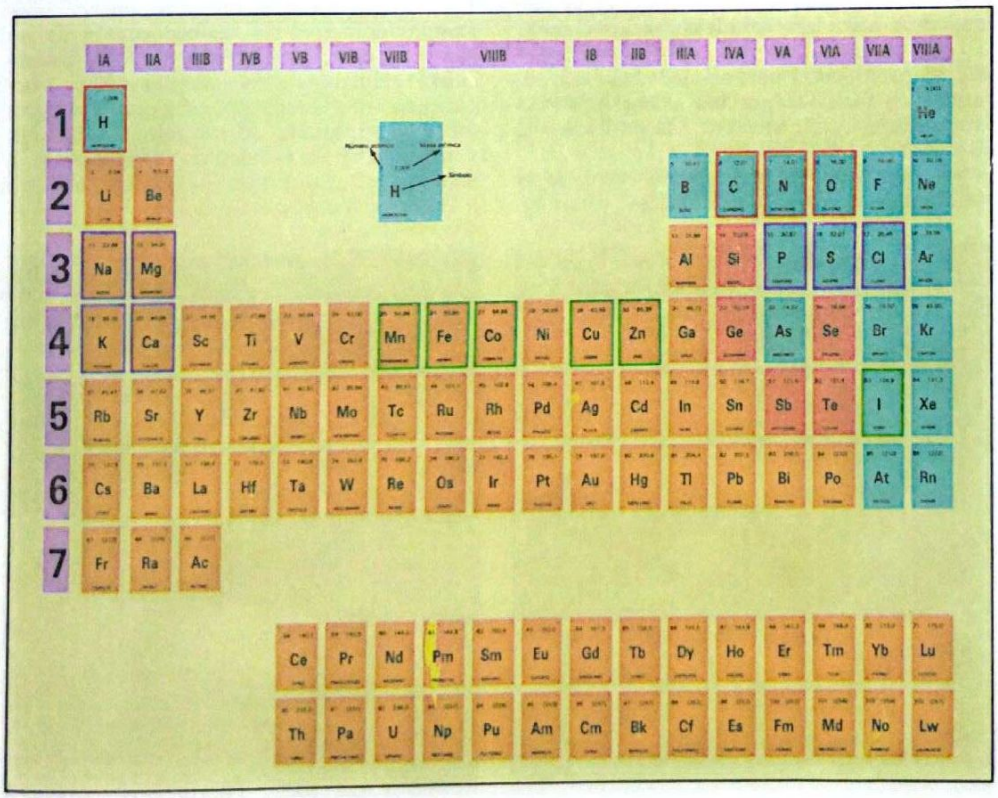


Tabla periódica de los elementos. Los principales elementos que constituyen la materia viva están resaltados con un ribete de color rojo. Los ribeteados de violeta corresponden a los elementos indispensables pero en menor cantidad, mientras que los ribeteados de color verde indica los oligoelementos más importantes.

Escaneado con CamScanner

Carbohidratos y lípidos

8

Los carbohidratos y los lípidos son los principios inmediatos que proporcionan la energía que los organismos necesitan para vivir. Los primeros se acumulan en forma de almidón o de glucógeno. Los lípidos son la forma de almacenar energía más importante de los organismos y además cumplen funciones protectoras y de aislantes térmicos.

NATURALEZA QUÍMICA DE LOS CARBOHIDRATOS O GLÚCIDOS

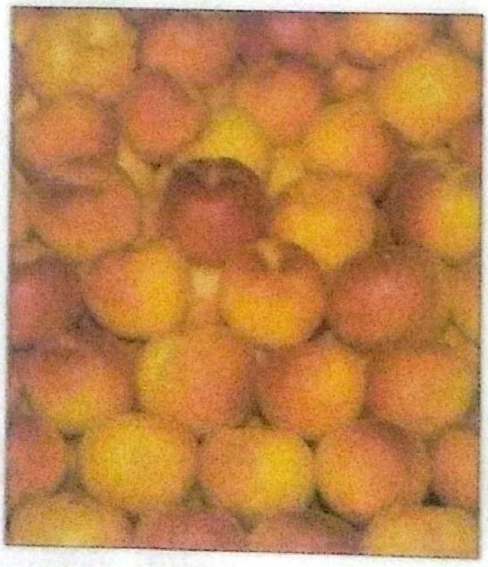
Los carbohidratos son principios inmediatos formados por carbono, hidrógeno y oxígeno en una proporción aproximada que respondería a la fórmula general $C_x(H_2O)_y$, y desde el punto de vista químico están constituidos por una, dos o más unidades de polihidroxialdehído o cetona, según resulten de la sustitución de uno de los grupos funcionales hidroxilo (–OH) por un grupo aldehídico (–COH) o cetónico (=CO). Los de una sola unidad reciben el nombre de **monosacáridos** o **azúcares**, los de dos unidades **disacáridos**, los constituidos por cadenas cortas de unidades de monosacáridos suelen denominarse **oligosacáridos** y aquellos que contienen cadenas largas de centenares o millares de unidades de monosacárido reciben el nombre genérico de **polisacáridos**.

- Los **monosacáridos** más comunes son *pentosas* (de cinco carbonos), como la **ribosa**, la **desoxirribosa** y la **ribulosa**, o bien *hexosas* (de seis carbonos), como la **glucosa**, la **fructosa** y la **galactosa**. No son hidrolizables, es decir que no se pueden descomponer en otros azúcares más simples, y son reductores.
- Los **disacáridos** están constituidos por dos monosacáridos unidos por covalencia mediante un *enlace glucosídico* (o glicosídico), que tiene la particularidad de hidrolizarse con facilidad por los ácidos. Los más importantes son la **sacarosa**, la **maltosa** y la **lactosa**.
- Los **polisacáridos** no forman verdaderas soluciones acuosas, sino coloides, y por hidrólisis se descomponen en disacáridos y por último en monosacáridos. Los principales son el **almidón**, que constituye la principal reserva alimenticia de los vegetales, el **glucógeno**, la reserva propia de los animales, y la **celulosa**, sustancia fundamental de la membrana celular de los vegetales.

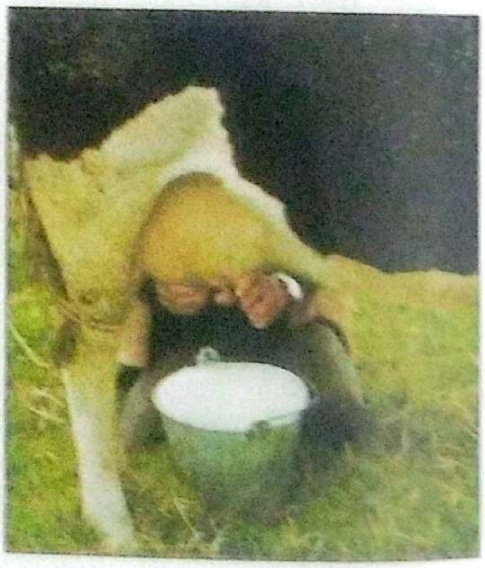
LA FUNCIÓN BIOLÓGICA DE LOS CARBOHIDRATOS

Los carbohidratos, en forma de azúcar o de almidón, representan la parte principal del consumo calórico total de la mayoría de los animales, así como de muchos microorganismos. También ocupan un lugar central en el metabolismo de las plantas verdes y de otros organismos fotosintéticos que emplean la energía solar para sintetizar carbohidratos a partir del dióxido de carbono y del agua que ellas toman. Las enormes cantidades de carbohidratos fotosintetizados constituyen las fuentes últimas de energía y de carbono de las células no fotosintéticas de todo el mundo viviente.

Por otro lado, el almidón y el glucógeno actúan como reserva temporal de glucosa; los polisacáridos insolubles desempeñan el papel de elementos estructurales y de soporte en las paredes celulares de las bacterias y de las plantas y en los tejidos conectivos y las cubiertas celulares de los animales; otros carbohidratos confieren especificidad biológica sobre la superficie de las células animales. También forman moléculas híbridas de gran interés biológico como las *glucoproteínas* y los *proteoglucanos*.



Izquierda, las frutas (como los albaricoques de la foto) suelen contener una gran proporción de carbohidratos en sus tejidos.



Derecha, la leche también es rica en carbohidratos (lactosa), pero además contiene cantidades importantes de lípidos (crema), proteínas y vitaminas, lo que la convierte en un alimento muy completo.

Escaneado con CamScanner

NATURALEZA QUÍMICA DE LOS LÍPIDOS

Los lípidos son compuestos orgánicos que contienen fundamentalmente carbono, oxígeno e hidrógeno, y muy a menudo fósforo, azufre y nitrógeno, siendo los sillares de su estructura los **ácidos grasos**. Tienen consistencia grasosa o aceitosa, son insolubles en el agua y son solubles en disolventes no polares, como el cloroformo, el éter, el benceno, el sulfuro de carbono o el alcohol.

Los sillares de los lípidos: los ácidos grasos

Los ácidos grasos son ácidos orgánicos de cadena larga que poseen de 4 a 24 átomos de carbono, un solo grupo carboxilo (–COOH) y una cola no polar hidrocarbonada. Esta cola puede hallarse completamente saturada (contiene sólo enlaces simples) o bien puede ser insaturada (con uno o más enlaces dobles), lo que divide a tales compuestos en dos grupos: **ácidos grasos saturados** y **ácidos grasos no saturados**, respectivamente. Los lípidos que contienen ácidos grasos insaturados constituyen los **aceites**, la mayoría de los cuales son líquidos a temperatura ambiente; los que contienen ácidos grasos saturados son las **grasas**, que se presentan sólidas a temperatura ambiente.

Los ácidos grasos son **bipolares** de modo tal que la cadena hidrocarbonada es lipófila (o lo que es lo mismo, hidrófoba), mientras que el grupo carboxílico es lipófobo (por tanto, hidrófilo).

Reciben el nombre de **ácidos grasos esenciales** aquellos que son necesarios para el metabolismo y que no pueden ser sintetizados dentro del propio organismo a partir de otras sustancias, por tanto, deben estar presentes en la dieta.

Grasas neutras o triglicéridos

Los lípidos más abundantes, ésteres del alcohol glicerina con tres moléculas de ácido graso, son moléculas **hidrófobas**, no polares. La **saponificación** de estos compuestos, en el terreno biológico, se realiza mediante un fermento digestivo, la *lipasa*, dando como producto ácidos grasos. Los triglicéridos están formados únicamente por carbono, hidrógeno y oxígeno.

Fosfolípidos

Son lípidos **polares**, formados por una molécula de glicerol unida a uno o dos ácidos grasos y también unida a un grupo fosfato y a una base orgánica. Contienen, por tanto, fósforo y nitrógeno. La porción correspondiente al ácido graso es hidrófoba y el otro extremo es hidrófilo.

Los lípidos insaponificables: carotenoides y esteroides

- Los **carotenoides** son los pigmentos vegetales rojo y amarillo, y están formados por cinco subunidades de carbono conocidas como unidades de **isopreno**.
- Los **esteroides** están formados por cadenas de isoprenos dispuestas de tal forma que constituyen un hidrocarburo cíclico de cuatro anillos entrelazados.

La aceituna produce, al ser prensada, aceite, el cual está formado por lípidos que contienen ácidos grasos insaturados, por lo que suelen ser líquidos a temperatura ambiente.

La sacarosa es un disacárido que abunda en la raíz carnosa de la remolacha azucarera, de la que se obtiene azúcar.

FUNCIÓN BIOLÓGICA DE LOS LÍPIDOS

Los **triglicéridos** son la forma de almacenar energía química más importante de la mayor parte de los organismos, y en muchos de ellos desempeñan además una función importante como aislantes térmicos y como protectores.

Los **lípidos polares**, en particular los **fosfolípidos**, son componentes estructurales de las membranas celulares, así como también los **esteroides**. Estos últimos tienen funciones especializadas; son esteroides, por ejemplo, el colesterol, las sales biliares, las hormonas sexuales, etc.

Las **lipoproteínas** son lípidos asociados con proteínas específicas y en ellas se mezclan las propiedades de los lípidos y de las proteínas.

Las grasas animales, como la de la dermis de la ballena, son sólidas a temperatura ambiente al contener ácidos grasos saturados.

Escaneado con CamScanner

Biomoléculas con actividad vital: las proteínas

9

Las proteínas son los elementos estructurales de toda materia viva. Sin ellas no es posible ningún tipo de forma vital y además son los instrumentos moleculares mediante los que se expresa la información genética y los constituyentes básicos de las enzimas y las hormonas.

Todas las enzimas, ciertas hormonas y muchos de los componentes estructurales importantes de la célula son proteínas (o prótidos). Todas ellas contienen –además de carbono, hidrógeno y oxígeno– nitrógeno y, frecuentemente, azufre. Donde no hay proteínas no hay vida: se encuentran en todas las células y en todas sus partes constituyentes, y son los instrumentos moleculares mediante los que se expresa la información genética.

LOS SILLARES DE LAS PROTEÍNAS

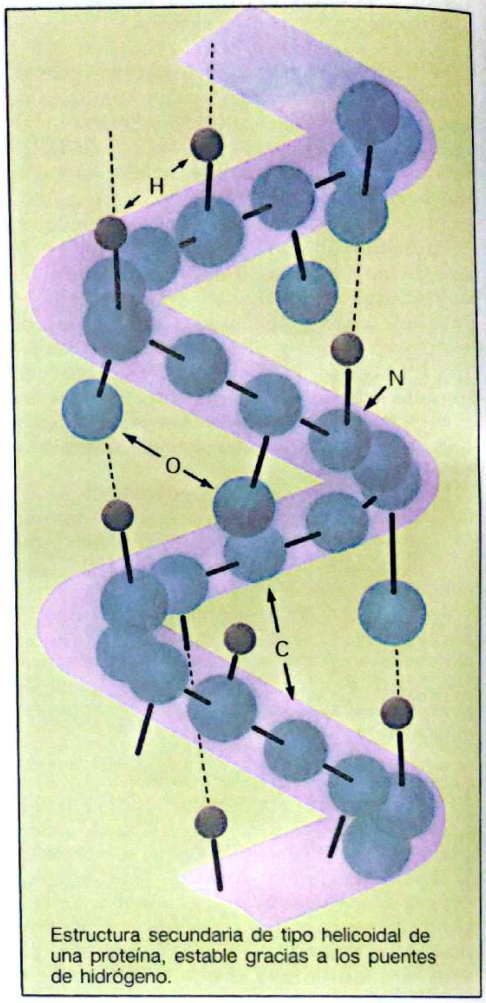
Aminoácidos

Todas las proteínas, incluso las que aparecen en los organismos primitivos extinguidos, están construidas a partir del mismo conjunto básico de 20 aminoácidos unidos covalentemente y formando secuencias características, que por tanto puede considerarse como el alfabeto de la estructura proteica. Además de estos **aminoácidos esenciales** hay muchos otros menos importantes.

Los aminoácidos tienen un grupo carboxilo (–COOH) y un grupo amino ($-NH_2$) unidos al mismo átomo de carbono, llamado *carbono asimétrico*, al que se une la cadena lateral que caracteriza a cada aminoácido.

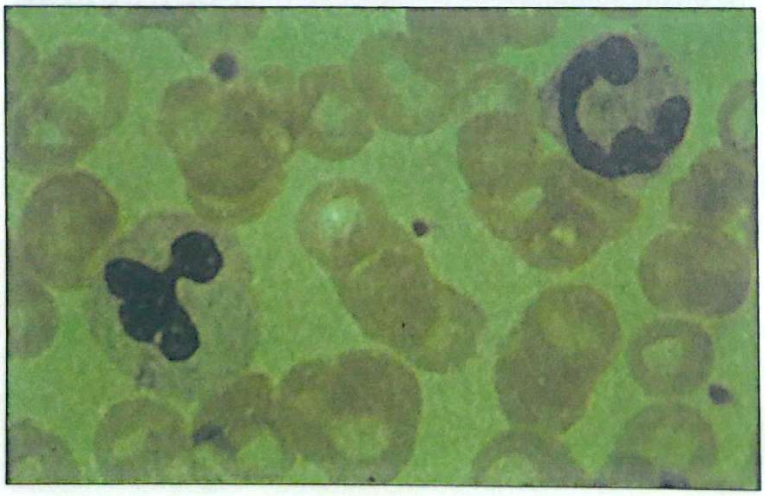
Péptidos

Los aminoácidos están ligados entre sí por medio de **enlaces peptídicos** (–CO–HN–), formando cadenas denominadas péptidos. La reunión de varias cadenas de péptidos forman la molécula de proteína, pero en la materia viva también existen péptidos libres (no asociados a la estructura de las proteínas) con una intensa actividad biológica, como, por ejemplo, la hormona insulina.



Estructura secundaria de tipo helicoidal de una proteína, estable gracias a los puentes de hidrógeno.

La sangre de los animales superiores, además de los glóbulos y las plaquetas, contiene proteínas, carbohidratos, lípidos, sales minerales, hormonas, enzimas y anticuerpos.



ESTRUCTURA DE LAS PROTEÍNAS

La estructura de una proteína es de gran interés porque determina su actividad biológica.

- La **estructura primaria** está representada por la sucesión de aminoácidos que forman una cadena peptídica, define la **especificidad** de la proteína y está regida por el **código genético**.
- La **estructura secundaria** es la disposición que adopta la estructura primaria en el espacio, que responde a dos modelos básicos: helicoidal y laminar.
- La **estructura terciaria**, privativa de cada proteína, es el resultado de superplegamientos o enrollamientos de las estructuras secundarias, y los enlaces que más contribuyen a mantenerla son del tipo disulfuro (–S–S–).

Escaneado con CamScanner

• **La estructura cuaternaria** es la que alcanzan las proteínas de elevado peso molecular, formadas por la agrupación de varias cadenas polipeptídicas que ya han adquirido la estructura terciaria.

CLASIFICACIÓN

Hay dos grupos principales de proteínas: holoproteínas y heteroproteínas.

Holoproteínas

Son aquellas que están formadas exclusivamente por cadenas de péptidos, por tanto se caracterizan por su estructura terciaria.

• En las **proteínas globulares** dicha estructura adopta una configuración más o menos esférica, lo que facilita la formación de dispersiones coloidales en el agua. Entre las más importantes están las **globulinas**, las **albúminas**, las **histonas** y las **protaminas**.

• En las **proteínas fibrosas** la estructura terciaria adopta una disposición fibrosa, como en el **fibrinógeno** de la sangre, la **miosina** de los músculos, el **colágeno**, etc.

Heteroproteínas

Son aquellas que están formadas por cadenas de péptidos más un **grupo prostético**.

• En las **glucoproteínas** el grupo prostético es un *glúcido*, como en las **inmunoglobulinas**.

• En las **lipoproteínas** los grupos prostéticos son *ácidos grasos*, como en muchas **proteínas de membrana**.

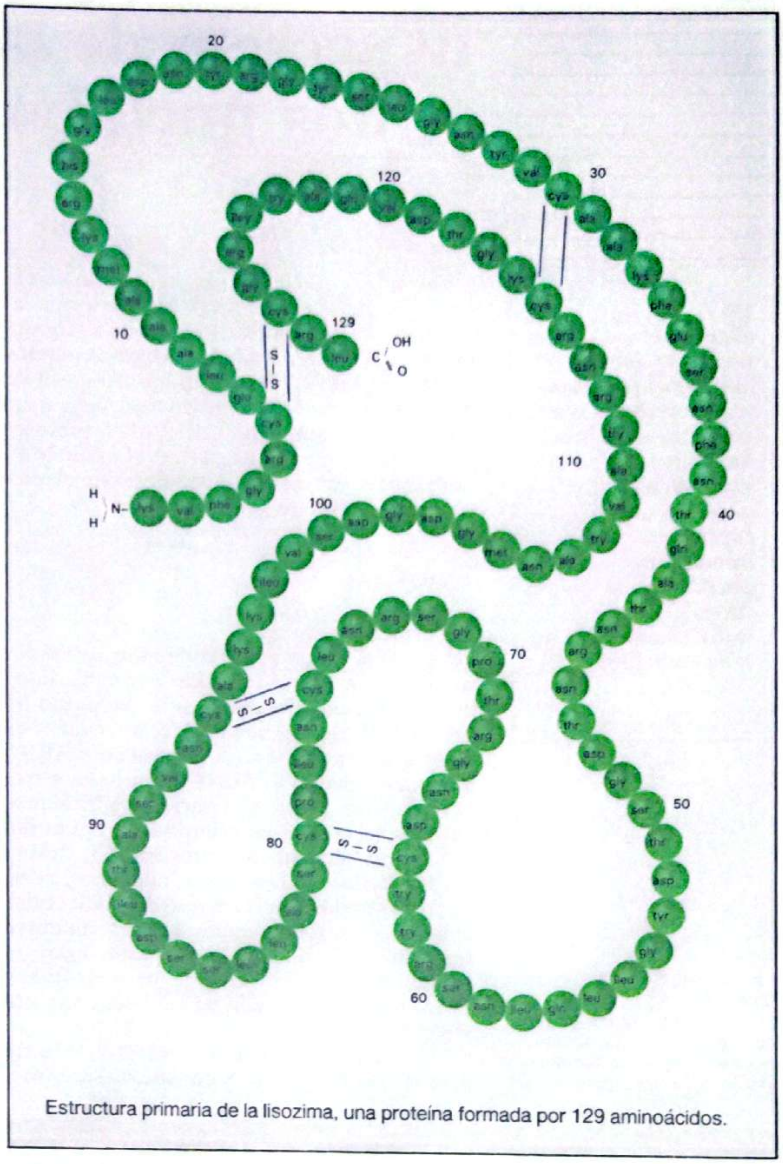
• En las **fosfoproteínas** el grupo prostético es el *ácido fosfórico*, como en el **caseinógeno** de la leche.

• En las **cromoproteínas** el grupo prostético es un pigmento, que puede ser una *metalporfirina*, como en la **hemoglobina** (el metal es el hierro) de la sangre de los vertebrados y la **clorofila** (el metal es el magnesio) de las plantas fotosintéticas, o no, como en la **hemocianina** o pigmento azul de la sangre de los invertebrados.

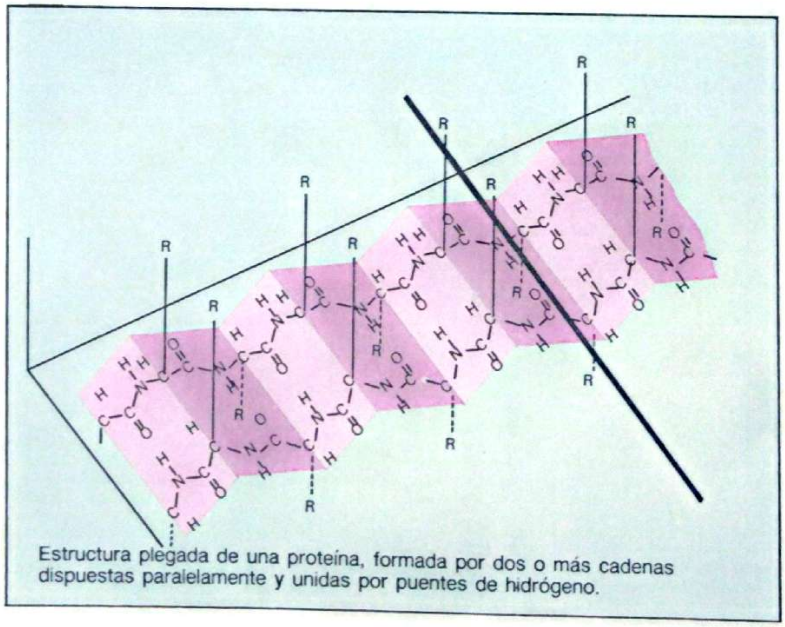
• En las **nucleoproteínas** los grupos prostéticos son los **ácidos nucleicos**.

FUNCIÓN BIOLÓGICA

Algunas proteínas funcionan como **enzimas**, otras como **hormonas** y otras como componentes estructurales importantes en las células y tejidos. Cada célula contiene cientos de proteínas diferentes; cada tipo de célula tiene algunas proteínas que le son propias, y casi todas las proteínas son características de cada especie. El grado de diferencia entre las proteínas de dos especies depende de la relación evolutiva entre éstas: los organismos con un parentesco no muy cercano tienen proteínas que difieren de manera más notable en su secuencia de aminoácidos que las emparentadas. Algunas proteínas difieren un poco, incluso entre los individuos de la misma especie, de modo que cada individuo es bioquímicamente único, salvo en casos de elevada consanguinidad o de gemelos idénticos.



Estructura primaria de la lisozima, una proteína formada por 129 aminoácidos.



Estructura plegada de una proteína, formada por dos o más cadenas dispuestas paralelamente y unidas por puentes de hidrógeno.

Escaneado con CamScanner

El secreto de la vida: ácidos nucleicos

10

Los ácidos nucleicos son moléculas proteicas muy complejas que constituyen la base de los cromosomas y el fundamento de la forma de expresarse la información genética en la síntesis de las proteínas propias de cada individuo.

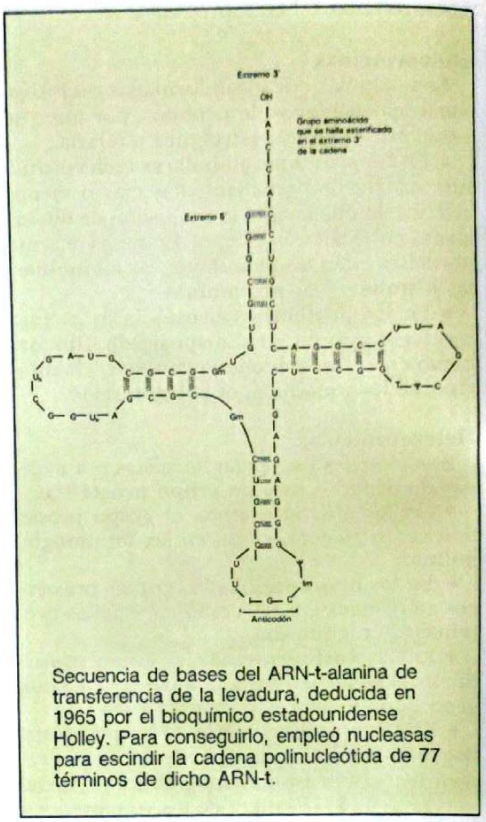
Los ácidos nucleicos son macromoléculas muy complejas presentes en el interior de las células. Los hay de dos tipos: **ácido ribonucleico (ARN)** y **ácido desoxirribonucleico (ADN)**. El ADN, presente en los cromosomas del núcleo celular, es el principal reservorio de la información genética; el ARN, presente en el núcleo y en otras estructuras celulares, desempeña funciones específicas en el proceso de síntesis de proteínas.

ADN Y ARN

Naturaleza química

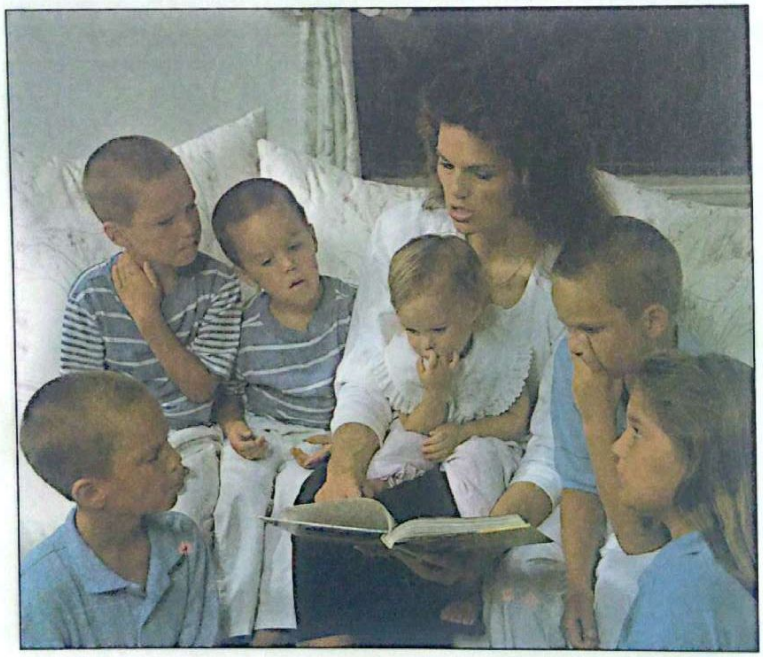
Los ácidos nucleicos están formados por **nucleótidos**, y un nucleótido está constituido por un **nucleósido** al que se le ha unido un **grupo fosfato**. Un nucleósido, a su vez, está formado por una *pentosa* (**ribosa** en el ARN y **desoxirribosa** en el ADN) y una **base nitrogenada**, que puede ser púrica o pirimídica. Hay dos bases púricas, **adenina** (A) y **guanina** (G), y tres pirimídicas, **citosina** (C), **timina** (T) y **uracilo** (U). Los ácidos nucleicos, pues, están formados por cadenas de nucleótidos enlazadas covalentemente mediante **puentes fosfodiéster** (enlaces de tipo éster entre el residuo de ácido fosfórico de un nucleótido y el carbono 3 de la pentosa del segundo nucleótido).

La **secuencia de bases** a lo largo de la cadena del ARN o del ADN constituye su estructura primaria. La del ADN, en particular, contiene información utilizada por las células para sintetizar sus propias proteínas características.



Secuencia de bases del ARN-t-alanina de transferencia de la levadura, deducida en 1965 por el bioquímico estadounidense Holley. Para conseguirlo, empleó nucleasas para escindir la cadena polinucleótida de 77 términos de dicho ARN-t.

La semejanza entre progenitores y descendientes, y en general entre los individuos de una misma especie, radica en los ácidos nucleicos.



El ADN

El ácido desoxirribonucleico posee una estructura secundaria formada por dos filamentos de ADN entrelazados en una **hélice doble** mediante *puentes de hidrógeno* entre las bases nitrogenadas enfrentadas. Los dos filamentos no son idénticos, sino que se complementan, propiedad que explica la repetición del ADN en la división celular. También es importante el hecho de que las bases nitrogenadas se disponen de tal manera que quedan siempre enfrentadas una base púrica con otra pirimídica, y concretamente la adenina se enfrenta siempre a la timina y la guanina a la citosina.

Los puentes de hidrógeno se rompen en el momento de la reproducción celular y las dos cadenas polinucleotídicas sirven de molde para producir dos cadenas complementarias, originándose dos nuevas dobles hélices iguales a la inicial en un proceso llamado **replicación**.

Escaneado con CamScanner

El ARN

El ácido ribonucleico, en cambio, está formado por un solo filamento polinucleotídico y presenta diferentes tipos en relación con la función que desempeñan. Estas formas características del ARN son:

- El **ARN mensajero** (ARNm) adquiere solamente estructura primaria y su función consiste en copiar la información genética almacenada en el ADN del núcleo y transmitirla hasta el ribosoma, en un proceso denominado **transcripción**.
- El **ARN de transferencia** (ARNt) realiza la **traducción** del código genético, transportando los aminoácidos para situarlos sobre el ARNm y formar la cadena de polipéptidos de acuerdo con el mensaje genético de este último: de este modo se sintetiza toda la cadena de proteína codificada en el ARNm. En parte, el ARNt adquiere una estructura secundaria puesto que, a pesar de ser monocatenario (un solo filamento nucleotídico), su molécula tiene forma de hoja de trébol, de modo que las bases que se enfrentan establecen puentes de hidrógeno entre ellas.
- El **ARN ribosomal** (ARNr), que es el constituyente principal de los ribosomas de la célula, también es monocatenario pero en cambio su molécula sufre plegamientos que le permiten adquirir en parte una estructura secundaria.

EL CÓDIGO GENÉTICO

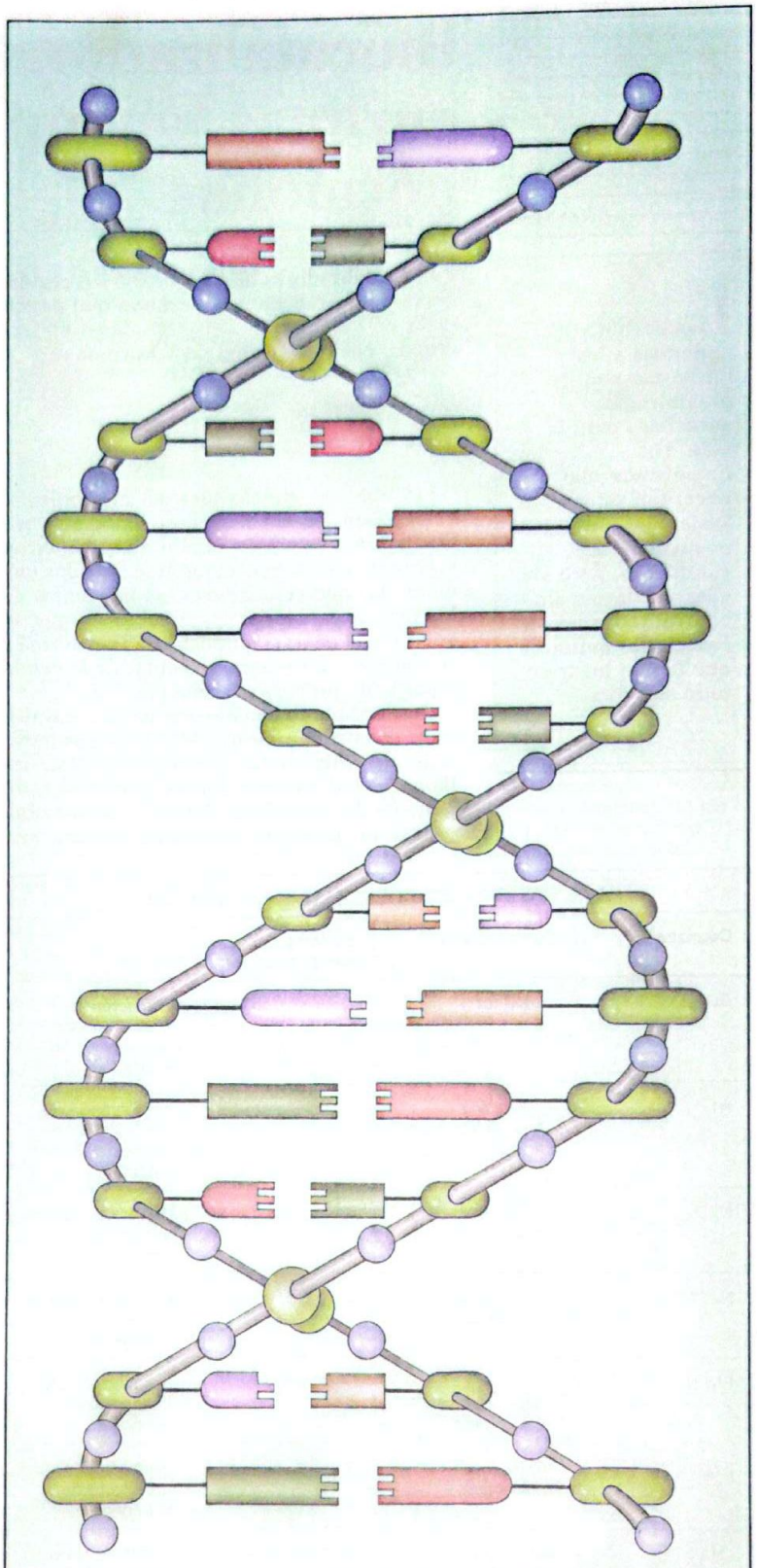
Se llama **codón** a la secuencia de tres nucleótidos adyacentes en un ácido nucleico que codifica a un aminoácido específico, y **código genético** al conjunto de correspondencias entre codones del ADN y los aminoácidos de las proteínas.

El código genético que dirige la inserción de los aminoácidos en el orden de sucesión apropiado en la cadena creciente del polipéptido consta, pues, de grupos de tres bases. Los aminoácidos son llevados al lugar apropiado por el ARNt, que es capaz de descifrar la clave.

Cualquier alteración del orden de las bases en una molécula de ADN conducirá a una alteración en el ARNm y, por tanto, producirá un cambio en la secuencia de los aminoácidos formados. Éste es el mecanismo que genera las llamadas **mutaciones**, que si no producen la muerte del organismo pueden transmitirse de una generación a otra.

La cantidad y la clase de información presente en una célula de un organismo superior todavía se encuentra muy alejada de la capacidad de programación actual de una computadora. Los 20 aminoácidos que están presentes, por ejemplo, en todas las proteínas humanas no son simplemente 20 unidades a codificar, ya que cualquier aminoácido puede tener dentro de una proteína diferentes significados.

La conversión del lenguaje de cuatro unidades del ADN y del lenguaje de 20 unidades de las proteínas, en el que las unidades pueden tener múltiples significados, todavía no es posible en el lenguaje digital.



Esquema de la doble hélice de ADN: adenina (en violeta), guanina (en rojo), citosina (en verde), timina (en marrón).

Escaneado con CamScanner

Biocatalizadores: enzimas, vitaminas, hormonas

11

Las enzimas, las vitaminas y las hormonas son biomoléculas esenciales para la vida. Los organismos sólo necesitan estas sustancias en pequeñísimas cantidades, pero sin ellas quedarían sin control todas las reacciones químicas que tienen lugar en todo ser vivo.

Los catalizadores biológicos son los reguladores de las reacciones químicas que tienen lugar en todo ser vivo y se clasifican en tres grupos: enzimas, vitaminas y hormonas.

LAS ENZIMAS: PROTEÍNAS MUY ESPECIALIZADAS

Las unidades funcionales del metabolismo celular son las enzimas, sustancias que, actuando en secuencias organizadas, catalizan los centenares de reacciones escalonadas mediante las que se degradan las moléculas de los principios nutritivos, aquellas en que se conserva la energía química y se transforma y se sintetizan las macromoléculas de la célula a partir de precursores sencillos.

Desde el punto de vista estructural, hay dos tipos de enzimas: las que son proteínas puras o simples, que son las menos frecuentes, y las llamadas *holoenzimas*, formadas por un componente de naturaleza proteica o **apoenzima** y otro no proteico denominado **coenzima**. Ambos componentes, inactivos por sí mismos, unidos por enlaces covalentes forman la enzima activa catalíticamente.

- **La apoenzima** viene a ser el soporte de la coenzima, es termolábil y determina la especificidad de la reacción enzimática. Presenta un **centro activo** en su molécula que constituye una oquedad formada por un número reducido de aminoácidos.
- **La coenzima**, de bajo peso molecular, es termoestable y la responsable del tipo de reacción enzimática pero no de su especificidad.

LAS PRINCIPALES COENZIMAS Y SU FUNCIÓN

Coenzima	Componentes	Enzimas de los que forman parte	Función
ADP	– adenosina – dos moléculas de ácido fosfórico	Transferasas	– transferencia de ácido fosfórico – acumulación de energía
ATP	– adenosina – tres moléculas de ácido fosfórico	Transferasas	– transferencia de ácido fosfórico – acumulación de energía
NAD	– nicotinamida – nucleótido	Deshidrogenasas	– deshidrogenación – transporte de hidrógeno
NADP	– nicotinamida – nucleótido	Deshidrogenasas	– deshidrogenación – transporte de hidrógeno
FMN	– riboflavina – una molécula de ácido fosfórico	Deshidrogenasas	– deshidrogenación – transporte de hidrógeno
FAD	– FMN – nucleótido	Deshidrogenasas	– deshidrogenación – transporte de hidrógeno
CoA	– ácido pantotémico – nucleótido	Transferasas	– transferencia de grupo acetil
TPP	– tiamina – dos moléculas de ácido fosfórico	Descarboxilasas	– descarboxilación
Ferroporfirimas	– coenzima con Fe en el núcleo porfírico	Oxidasas	– transporte de electrones

Cómo actúa una enzima

En toda reacción enzimática intervienen dos elementos: la **enzima** y el **sustrato** o sustancia que, catalizada por la enzima, se transforma en otro producto o productos.

- Las enzimas se unen con la molécula del sustrato y forman, transitoriamente, un **complejo enzima-sustrato**, que se descompone y forma la enzima libre y los productos de la reacción.
- A medida que aumenta la **concentración del sustrato**, la actividad catalítica de una concentración fija de una determinada enzima aumentará de forma hiperbólica hasta aproximarse a una **velocidad máxima característica** en la que toda la enzima se halla esencialmente en forma de complejo enzima-sustrato (la enzima se halla saturada con el sustrato).
- Cada enzima posee un **pH óptimo**, así como una **especificidad** característica para los sustratos sobre los que actúa.
- El **nombre** de las enzimas se forma generalmente con el nombre del sustrato con el sufijo *-asa*, como, por ejemplo, la lactasa, que desdobla la lactosa; sin embargo, algunas enzimas conservan aún sus nombres antiguos, como la pepsina, la tripsina, etc.

VITAMINAS

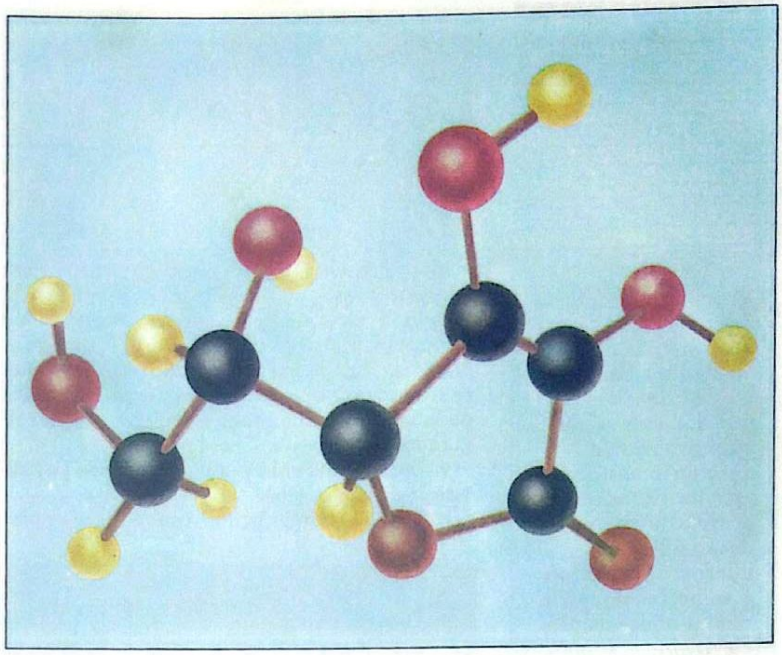
Las vitaminas son compuestos orgánicos precursores esenciales de diversas coenzimas. Los vegetales pueden sintetizar estas sustancias, pero, en general, esto no ocurre en los animales, que necesitan su presencia en la dieta para crecer y funcionar de un modo adecuado. Se necesitan en cantidades muy pequeñas, pero son esenciales: la falta o deficiencia vitamínica acarrea serias perturbaciones en los animales y en los humanos que se conocen con el nombre de **carencias vitamínicas** o **avitaminosis**.

Las vitaminas se designan de tres modos: utilizando letras mayúsculas, por el nombre de la enfermedad que ocasiona su carencia o

Escaneado con CamScanner

por el nombre de su constitución química. Si dentro de una vitamina que se consideraba única se ha descubierto posteriormente que en realidad se trata de varias sustancias con acción distinta, cada una de estas vitaminas se designa con la letra mayúscula de la que se consideraba única acompañada de un subíndice. Así, lo que se creía vitamina B es en realidad un complejo de vitaminas que se designan por B_1, B_2, B_6, B_{12}, etc.

Las vitaminas pueden agruparse en dos clases: **hidrosolubles** (solubles en el agua) y **liposolubles** (solubles en las grasas o en los disolventes de éstas).



Arriba, estructura de la vitamina C o ácido ascórbico, presente en todos los tejidos de los animales y de las plantas superiores. Desde 1790 se conoce la existencia en los cítricos de un factor que previene del escorbuto.

LOS MENSAJEROS QUÍMICOS: HORMONAS

Una hormona es un mensajero químico segregado en cantidades muy pequeñas por un tipo de célula, tejido o glándula endocrina y que es transportado por la circulación hasta un tejido que constituye su objetivo, en otra parte del organismo, a fin de estimular una actividad bioquímica o fisiológica específica.

Hormonas vegetales

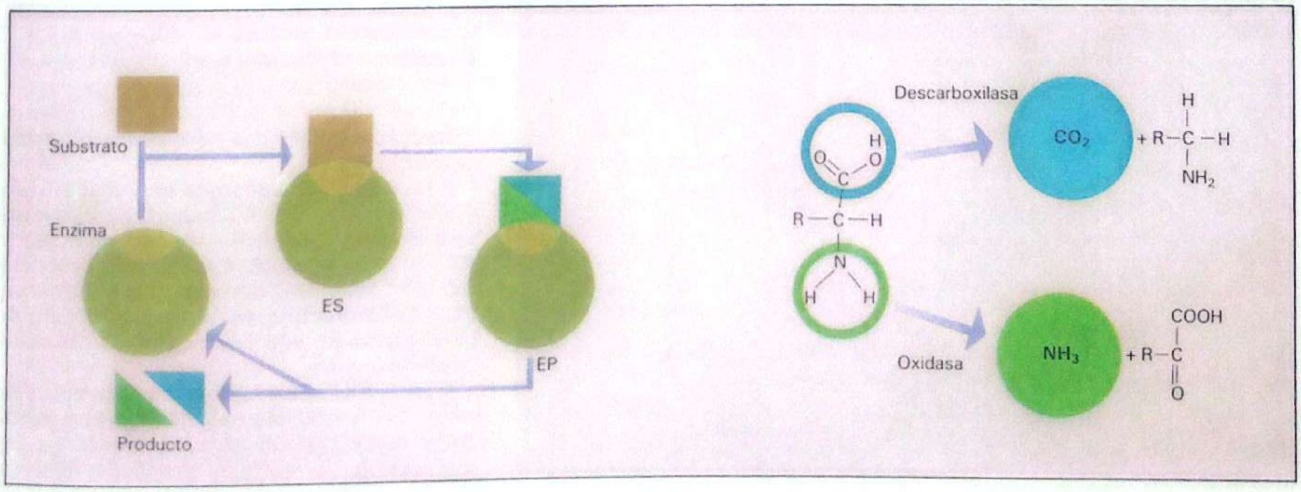
Las hormonas fueron descubiertas inicialmente en los animales, en los que la mayoría de ellas se producen en glándulas especializadas de secreción interna. En las plantas, las hormonas se producen en tejidos que están funcionando de una manera fundamental; además, a diferencia de las hormonas animales, los tejidos blanco de las hormonas vegetales son los mismos que las producen.

- Las **auxinas** estimulan el desarrollo del fruto y de las yemas apicales, e inician el crecimiento de la raíz.
- Las **giberelinas** estimulan el crecimiento del tallo, intervienen en la germinación de las semillas y ayudan al desarrollo del fruto.
- Las **citocininas** participan en la cicatrización de lesiones, en el desarrollo de los frutos y en la diferenciación de los tejidos. Gobiernan el sentido del flujo de nutrientes y estimulan la mitosis, y por tanto el crecimiento de las yemas.
- El **etileno** promueve la maduración de los frutos.
- El **ácido abscísico** se produce en condiciones de estrés, interviene en el cierre de los estomas y en algunos casos promueve la senescencia y abscisión de las hojas.

Hormonas animales

En los animales, la misión principal de las hormonas es establecer correlaciones funcionales de tipo químico.

- Según su **naturaleza química** pueden ser esteroides, proteínas o derivados de ácidos grasos o aminoácidos.
- Son **específicas**, dado que las células de los tejidos blanco tienen receptores especiales para ellas.
- La **secreción hormonal** es regulada por mecanismos de control por retroalimentación negativa.
- En los **invertebrados** muchas hormonas son secretadas por neuronas y no por glándulas endocrinas.
- En los **vertebrados** el hipotálamo es el puente de enlace entre los sistemas nervioso y endocrino.



Esquema de la izquierda: formación del complejo enzima-substrato (ES) y posterior desdoblamiento del complejo enzima-producto (EP). Derecha: especificidad de acción de las enzimas descarboxilasa y oxidasa.

Escaneado con CamScanner

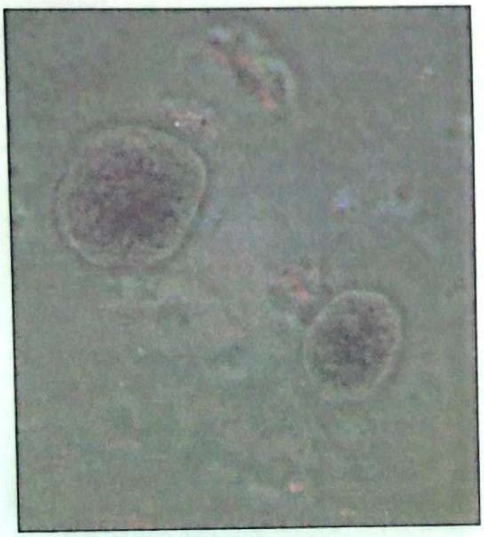
La célula

12

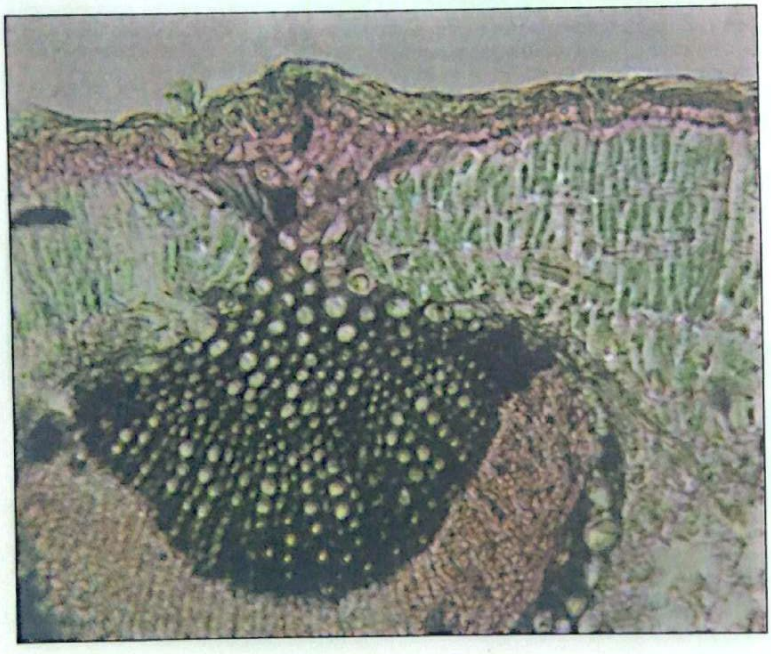
La célula es la unidad vital más elemental. Toda unidad de nivel inferior carece de vida propia. Su descubrimiento y estudio fueron posibles a partir del desarrollo del microscopio óptico y se perfeccionaron con el microscopio electrónico.

El cuerpo de todos los organismos está constituido por células, de tal manera que la actividad vital de éstos es la resultante de la actividad de las células que los integran, entre las cuales existe una coordinación que se traduce en una unidad orgánica. Las bases de la **teoría celular** se pueden resumir del siguiente modo:

- Toda célula sólo puede originarse por división de otra célula.
- Todos los organismos (unicelulares y pluricelulares) tienen su origen en una sola célula.
- La célula es la unidad vital más elemental; toda unidad de nivel inferior carece de vida propia.



Derecha, el protozoario *Entamoeba coli*, formado por una sola célula eucariota.



Abajo, visión microscópica de las células que forman el parénquima de una hoja de una planta verde.

PARTES DE UNA CÉLULA

Una célula típica consta de una pequeñísima cantidad de material gelatinoso, el **protoplasma**, rodeado por una **membrana celular**. Inmerso en el protoplasma se halla el **núcleo**. La porción de célula que se halla fuera del núcleo se denomina **citoplasma** y el material del interior del núcleo, **nucleoplasma**. Suspendidos en el citoplasma y el nucleoplasma hay diversos **orgánulos subcelulares**, la mayoría de ellos limitados por membranas, los cuales realizan funciones específicas.

FORMA Y TAMAÑO

La forma y el tamaño de una célula varían con las funciones específicas que desempeña. Ciertos microorganismos unicelulares miden menos de 0,3 micras, mientras que la yema de los huevos de las aves es una sola célula. No obstante, la mayoría de las células son microscópicas y su tamaño oscila entre una y veinte micras.

Aunque tienden a ser esféricas o globulares, las células presentan numerosas formas características. Los espermatozoides poseen largos flagelos para la locomoción, las amibas cambian su forma al moverse de un lugar a otro, las células nerviosas poseen largas extensiones que les permiten transmitir mensajes a grandes distancias dentro del cuerpo, etcétera.

CÉLULAS PROCARIOTAS Y EUCARIOTAS

Básicamente hay dos tipos de organización celular:

- **La célula procariota** es muy simplificada y sólo se presenta en las bacterias, en las algas unicelulares cianoficeas (cianobacterias) y en los microplasmas. Carece de membrana nuclear, vacuolas, mitocondrias y otros orgánulos subcelulares, y la pared celular está formada por un complejo llamado peptidoglucano.
- **La célula eucariota** es la célula típica de todos los organismos pluricelulares y de la mayoría de los unicelulares. Como consecuencia de su elevado grado de diferen-

Escaneado con CamScanner

ciación, posee gran número de estructuras y orgánulos subcelulares, y el núcleo está rodeado por una membrana nuclear.

• Los **virus** constituyen un mundo aparte. Su tipo de organización es tan simplificado que se reduce a un filamento de ácido nucleico protegido por una envoltura.

CÉLULAS VEGETALES Y ANIMALES

Las diferencias fundamentales entre las células vegetales y las animales pueden resumirse como sigue:

• Además de la membrana celular, los vegetales están recubiertos de **paredes celulares rígidas de celulosa**, lo que les impide cambiar su posición o forma.

• Las células animales carecen de **plastos**, orgánulos presentes en las células vegetales.

• Las células vegetales poseen una o varias **vacuolas** de agua.

• Las células de las plantas superiores carecen de **centriolos** y de **lisosomas**, orgánulos casi siempre presentes en las células animales.

CÓMO SE ESTUDIA LA CÉLULA

• El **microscopio óptico** permite observar detalles de la célula no inferiores a 0,2 micras. El corte a observar debe ser muy fino para que pueda ser atravesado por la luz, para lo cual se usa el microtomo. Para observar células vivas se utiliza el equipo de contraste de fases y colorantes inofensivos.

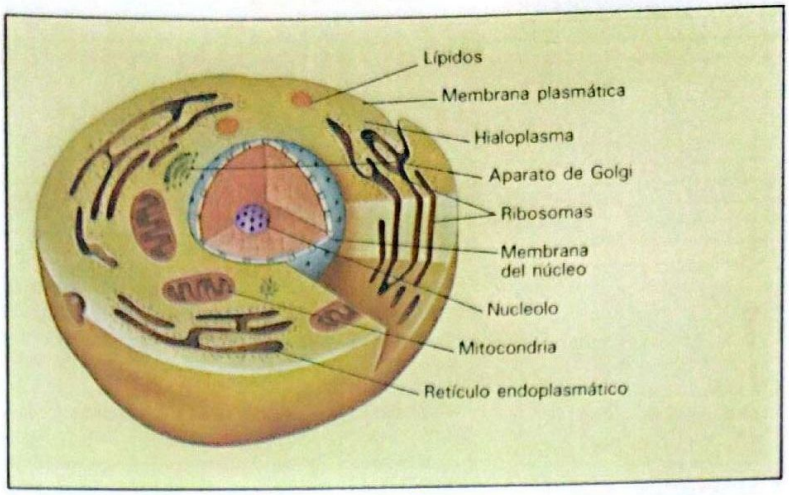
• El **microscopio electrónico** permite observar detalles de menos de 3 angstroms, con varios cientos de miles de aumentos. La muestra, preparada con ayuda del ultramicrotomo, se sitúa en el trayecto de un haz de electrones en el vacío. Cada estructura celular presenta una absorción de electrones diferente, lo que permite la observación. Con el **microscopio electrónico de barrido** se consigue además una visualización tridimensional.

• El **método de difracción por rayos X** se basa en la difracción que sufren estos rayos al chocar con los átomos, lo que permite la observación de la célula a nivel macromolecular.

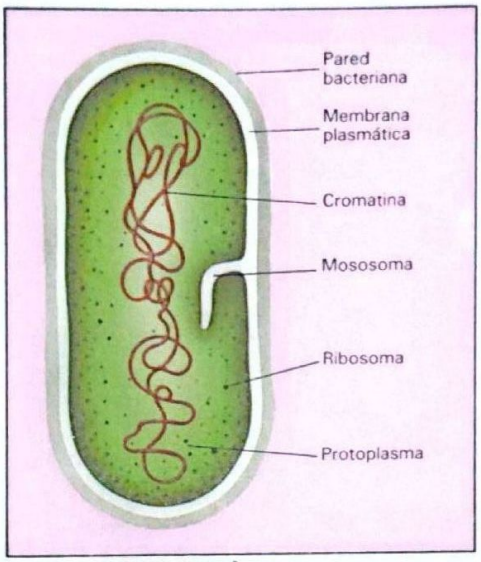
• Los **métodos de análisis bioquímico** se basan en la química analítica. Primero se preparan las *fracciones celulares* (técnicas de trituración, centrifugación, ultracentrifugación diferencial, etc.) y luego se someten a análisis químico.

• La **autorradiografía** consiste en cubrir los cortes con una película de emulsión fotográfica especial que, al quedar expuesta a las radiaciones emitidas por las células, es revelada y fijada. Previamente se han fijado isótopos radiactivos sobre las estructuras celulares. Es muy útil para el estudio del metabolismo celular.

• Los **cultivos *in vitro*** constituyen los métodos fisiológicos de estudio de células, de tejidos y hasta de órganos, en vivo, suspendidos en una solución fisiológica adecuada.

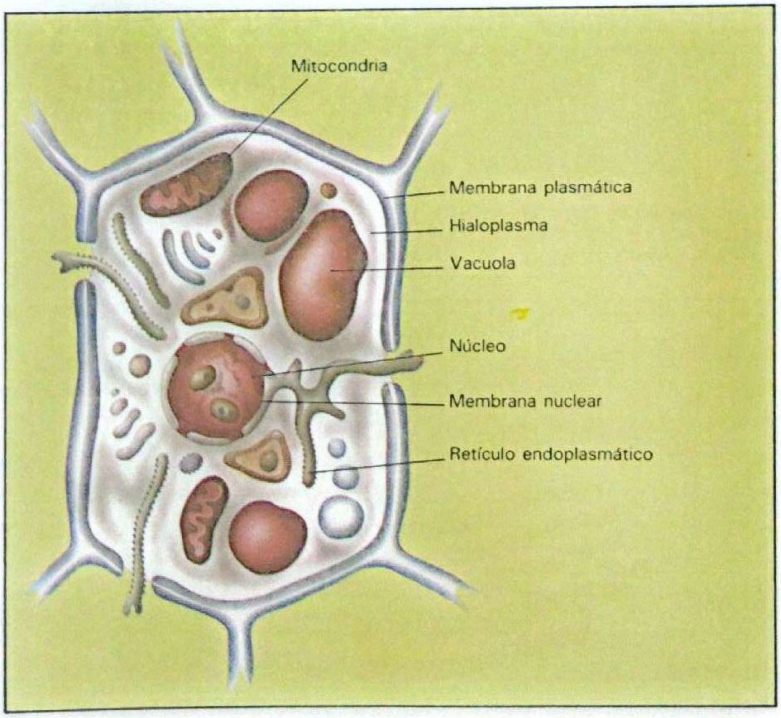


Arriba, esquema general de una célula animal típica.



Izquierda, estructura típica de una bacteria, organismo compuesto de una sola célula procariota.

Abajo, esquema general de la célula vegetal típica.



Escaneado con CamScanner

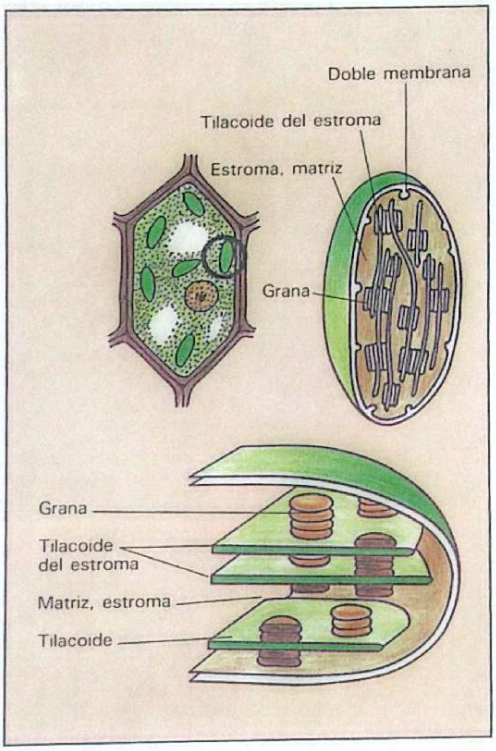
El interior de la célula: el citoplasma y sus orgánulos

13

La célula típica está formada por un núcleo, una suspensión coloidal en la que están inmersos los orgánulos y una membrana que envuelve todo el conjunto. Cada orgánulo del citoplasma tiene funciones vitales específicas.

El citoplasma está comprendido entre la membrana celular y el núcleo, y está formado por una sustancia fundamental o hialoplasma y una serie de orgánulos subcelulares inmersos en ella.

- El **hialoplasma** es una suspensión coloidal, transparente y viscosa, formada por agua y numerosos compuestos: sales, principios inmediatos, enzimas, productos del metabolismo, etc. Sin embargo, observado al microscopio electrónico de alto voltaje, el hialoplasma muestra una estructura microtrabecular a base de **microtúbulos** y **microfilamentos**, permanentes o transitorios, formados por polimerización de ciertas proteínas.
- Los **orgánulos** son estructuras muy diversas con funciones específicas. Algunos no están presentes en las células procariotas, así como unos son privativos de células vegetales y otros de células animales.



Derecha, célula vegetal de una planta superior y detalles de un cloroplasto, orgánulo privativo de la célula vegetal.

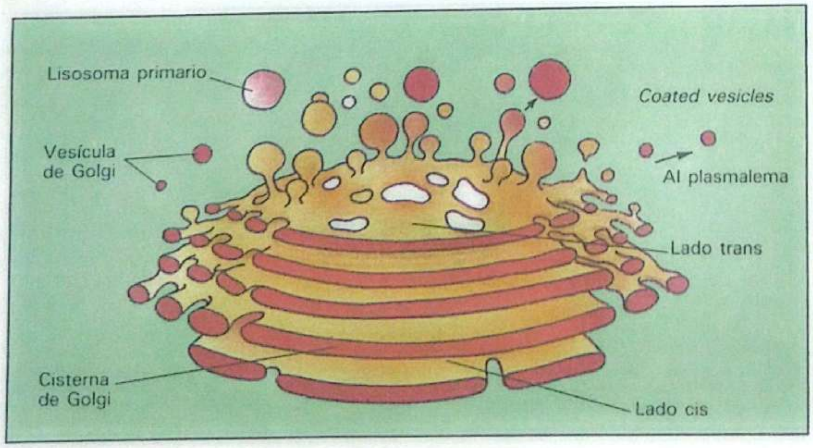
RETÍCULO ENDOPLÁSMICO Y RIBOSOMAS

El retículo endoplásmico es un sistema de membranas internas que transporta y almacena materiales dentro de la célula y que divide el citoplasma en compartimientos interconectados. Existen dos tipos de retículo endoplásmico:

- El **retículo endoplásmico liso** produce esteroides en ciertas células, además de participar en otras funciones.
- El **retículo endoplásmico granular** debe su aspecto a la presencia en sus paredes externas de muchos **ribosomas**, donde la célula fabrica sus proteínas. Los ribosomas están presentes en todos los tipos de células.

APARATO DE GOLGI

Está formado por un conjunto de sáculos o vesículas discoidales apilados en paquetes de 4 a 8 llamados **dictiosomas**. Se encarga de concentrar las secreciones producidas en el retículo endoplásmico para empaquetarlas y exportarlas fuera de la célula.



Abajo, aparato de Golgi. El conjunto de los dictiosomas forma el aparato de Golgi.

El centríolo parece como un cilindro hueco.

Escaneado con CamScanner

LISOSOMAS

Los lisosomas son pequeñas vesículas llenas de enzimas digestivas, dispersas por todo el citoplasma, que se desprenden por gemación de los sáculos del aparato de Golgi. Desempeñan, por tanto, un importante papel en la digestión intracelular o *endocitosis*.

PEROXISOMAS

Son sacos membranosos que contienen enzimas oxidantes. Intervienen en la degradación de ácidos grasos, destoxicación del etanol, etc., y, en células vegetales, en procesos de fotorrespiración y de conversión de ácidos grasos almacenados en la semilla en azúcares.

MITOCONDRIAS

Son gránulos más o menos alargados, distribuidos por todo el citoplasma de las células vegetales y animales, limitados por una membrana externa lisa y una membrana interna plegada. Las crestas de la membrana interna contienen las enzimas necesarias para la respiración celular.

PLASTOS

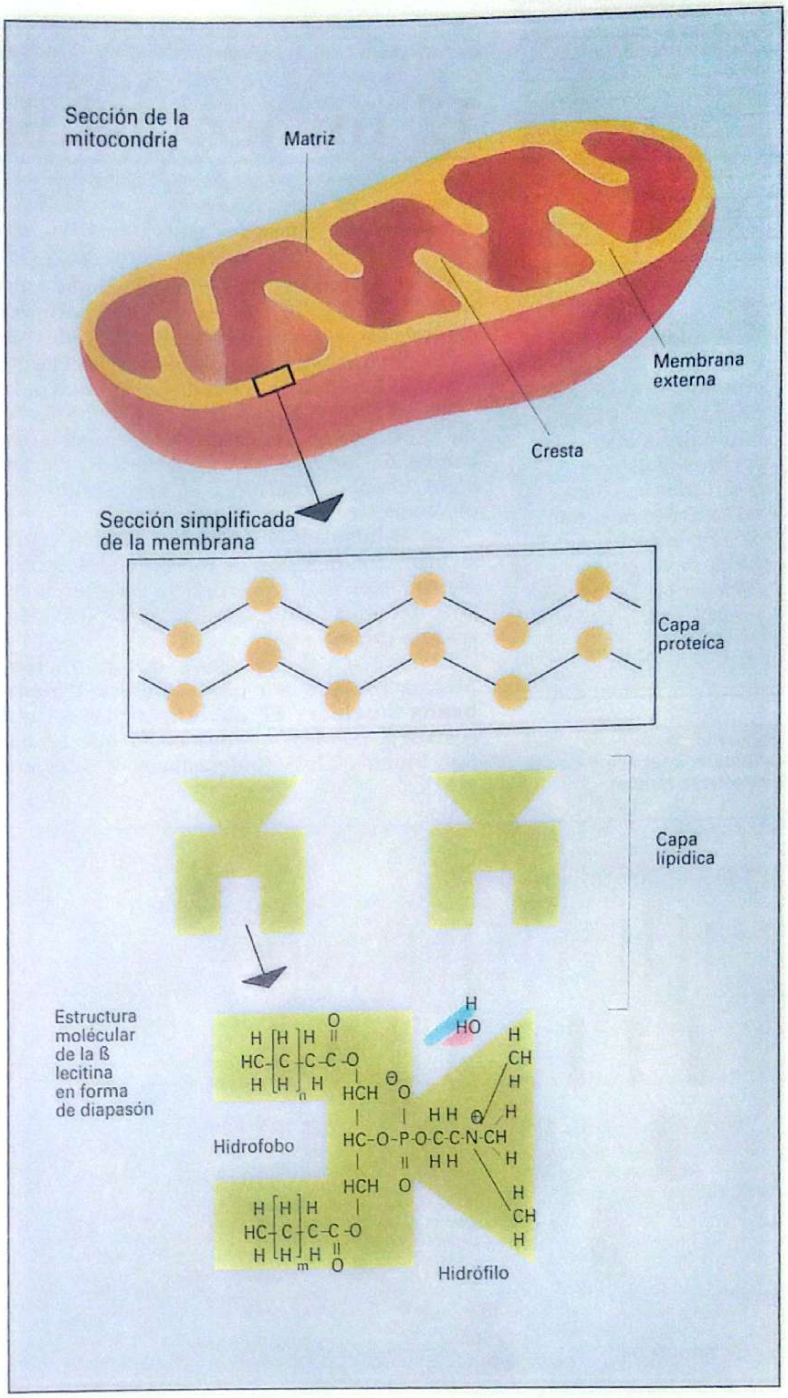
Son orgánulos de forma muy variable cuya función es la síntesis o almacenamiento de materiales alimenticios en las células de los vegetales con clorofila. Los **leucoplastos** son incoloros y funcionan como centros de almacenamiento de almidón y otras reservas. Los **cromoplastos** contienen pigmentos que producen coloraciones características a flores, frutos, hojas otoñales, etc. Los **cloroplastos** contienen clorofila y carotenoides, y son de vital importancia para la fotosíntesis.

CENTROSOMA

Cada célula animal posee dos diminutos orgánulos, llamados **centríolos**, que participan en la división celular formando el *huso acromático* que dirige el movimiento de los cromosomas. Cada centríolo es un cilindro hueco constituido por nueve microtúbulos dobles o triples. Los centríolos se localizan dentro de un área densa del citoplasma, por lo general junto al núcleo, que recibe el nombre de **centrosoma**.

CILIOS Y FLAGELOS

Son estructuras móviles en forma de látigo que se proyectan desde la superficie libre de la membrana de ciertas células y ciertos organismos unicelulares. Si son cortos y numerosos reciben el nombre de cilios; si son pocos y largos, flagelos. Estos órganos vibrátiles, con funciones locomotoras o de movimiento de líquidos y partículas circundantes, están regidos por un **corpúsculo basal** de estructura similar a la de un centríolo, situado en el interior de la célula, cerca de la membrana celular. De él se origina el tallo del órgano, que está contorneado por dicha membrana.



Detalles esquemáticos de la estructura de una mitocondria, que se ha podido conocer gracias al empleo del microscopio electrónico.

VACUOLAS

Son cavidades, limitadas por una membrana, destinadas a almacenar sustancias de reserva o de desecho, en los vegetales, o bien a la función digestiva (*vacuolas digestivas*) o a eliminar el exceso de agua de la célula (*vacuolas pulsátiles*) en ciertos animales.

Escaneado con CamScanner

El núcleo celular

14

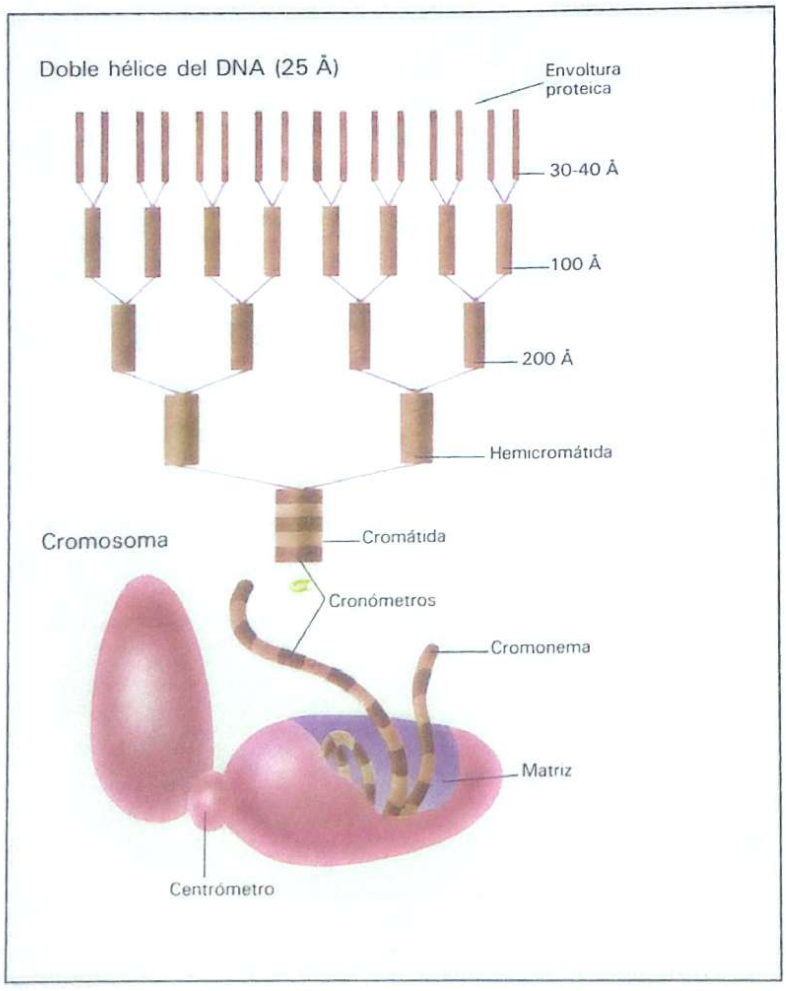
El núcleo es el principal componente de toda célula. En él están contenidos los cromosomas y en casi todos los seres vivos está rodeado de una membrana. La excepción la forman las bacterias y los virus.

Todas las células tienen un orgánulo esférico u ovalado, generalmente en posición central, inmerso en el citoplasma, que rige todas las funciones celulares y contiene el material hereditario. Privada de su núcleo, la célula muere. Algunas células tienen más de un núcleo, pero son casos excepcionales (las células de los músculos esqueléticos, ciertas algas y hongos inferiores, algunos protozoos, etcétera).

Las **células plurinucleadas** pueden tener su origen en la fusión de varias células uninucleadas (*sincitio*) o bien en la división sucesiva del núcleo no seguida de la del citoplasma (*plasmodio*).

El núcleo celular consta de un **nucleoplasma** rodeado por una envoltura o **membrana nuclear**. El nucleoplasma es una sustancia coloidal viscosa en la que se hallan inmersos los cromosomas y el o los nucléolos.

Esquema de un cromosoma (abajo) y de las cromátidas (arriba).



MEMBRANA NUCLEAR

El núcleo está separado del citoplasma que lo rodea por una membrana (ausente en los procariotas) formada por dos láminas muy finas separadas por un pequeño espacio. Estas dos láminas se fusionan a intervalos para formar los poros nucleares, a través de los cuales el interior del núcleo se comunica con el citoplasma y se regula el flujo de materiales en ambos sentidos.

CROMOSOMAS

En el nucleoplasma se halla suspendido un número fijo de corpúsculos filiformes más o menos largos llamados cromosomas, compuestos principalmente de una sustancia llamada *cromatina*, que es una nucleoproteína cuyo grupo prostético es el ADN.

Estando el núcleo en reposo, los cromosomas forman una masa irregular de filamentos y gránulos, pero se hacen evidentes cuando la célula empieza a dividirse, haciéndose compactos y distribuyéndose entre las dos células hijas en un número de cromosomas exactamente iguales.

Composición y estructura

Los principales componentes de los cromosomas son el **ADN**, proteínas básicas (fundamentalmente **histonas**, de bajo peso molecular) y proteínas ácidas (de mayor peso molecular), denominadas **proteínas estructurales**.

Según uno de los modelos más aceptados, un cromosoma está organizado sobre una molécula de ADN asociada a las histonas, formando el armazón permanente de la estructura cromosómica o **cromonema**. A lo largo de esta fibra aparecen unos engrosamientos regularmente esparcidos denominados **nucleosomas**, formados por ocho moléculas de histona rodeadas por dos vueltas de la doble hélice de ADN.

En la entrada y salida de cada nucleosoma, la doble hélice abraza a otra molécula de histona. El cromonema, además, se repliega sobre sí mismo para formar estructuras más complejas mantenidas por las proteínas estructurales.

Precisamente es en la doble hélice de ADN donde se localizan los **genes** transmisores de los caracteres hereditarios.

Individualidad y constancia numérica

Los cromosomas se diferencian entre sí por su forma, tamaño y presencia de nudos y constricciones (*centrómero* y *constricciones secundarias*) en su estructura. En casi todas

Escaneado con CamScanner

las especies, las características estructurales de los diferentes cromosomas son únicas y permiten distinguir los diferentes pares durante la división celular. Además, cada tipo de organismo (cada especie) posee un número característico de cromosomas en cada una de las células que lo forman (por ejemplo el humano tiene 46).

Pares de cromosomas homólogos

Las células de las plantas y animales de cierto grado de organización contienen dos cromosomas de cada tipo, es decir dos series o **juegos de cromosomas** numéricamente iguales, de tal manera que a cada cromosoma de un juego corresponde otro igual en el otro, formándose así parejas de **cromosomas homólogos**.

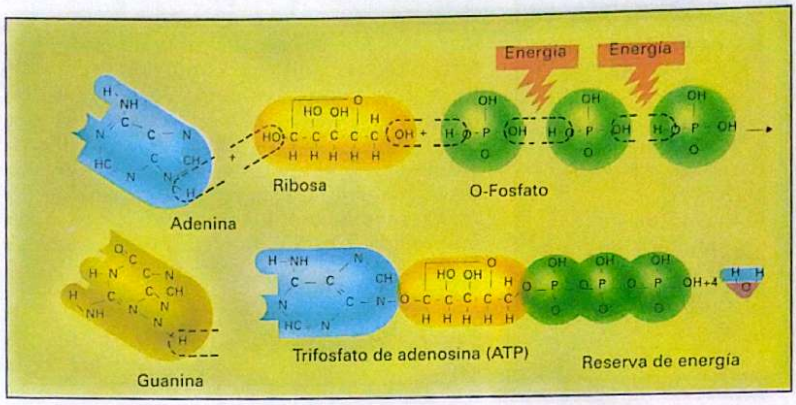
Los espermatozoides y óvulos, que sólo tienen un juego de cromosomas, se dice que son **haploides** (tienen n cromosomas), o sea que tienen la mitad del número de cromosomas presentes en las células del cuerpo de los miembros de la especie. El cigoto u óvulo fecundado contiene la combinación de los dos juegos haploides (uno del espermatozoide y otro del óvulo), con lo que se restablece el número **diploide** de cromosomas ($2n$), de modo que el embrión ya es diploide.

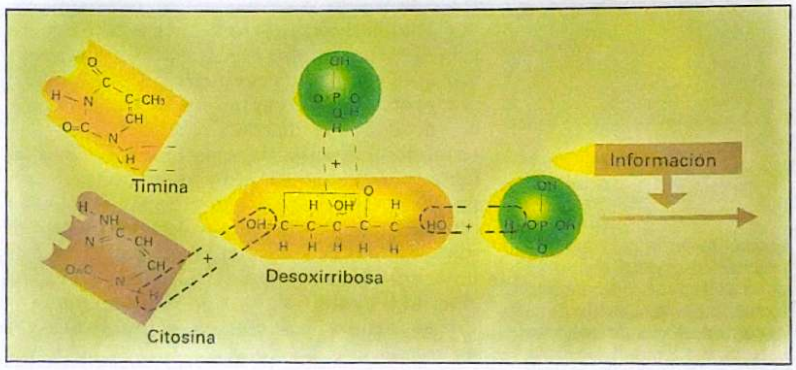
El **cariotipo** es el conjunto de cromosomas de una especie o individuo y su caracterización. La representación fotográfica de los pares de cromosomas homólogos ordenados según su tamaño recibe el nombre de **idiograma**.

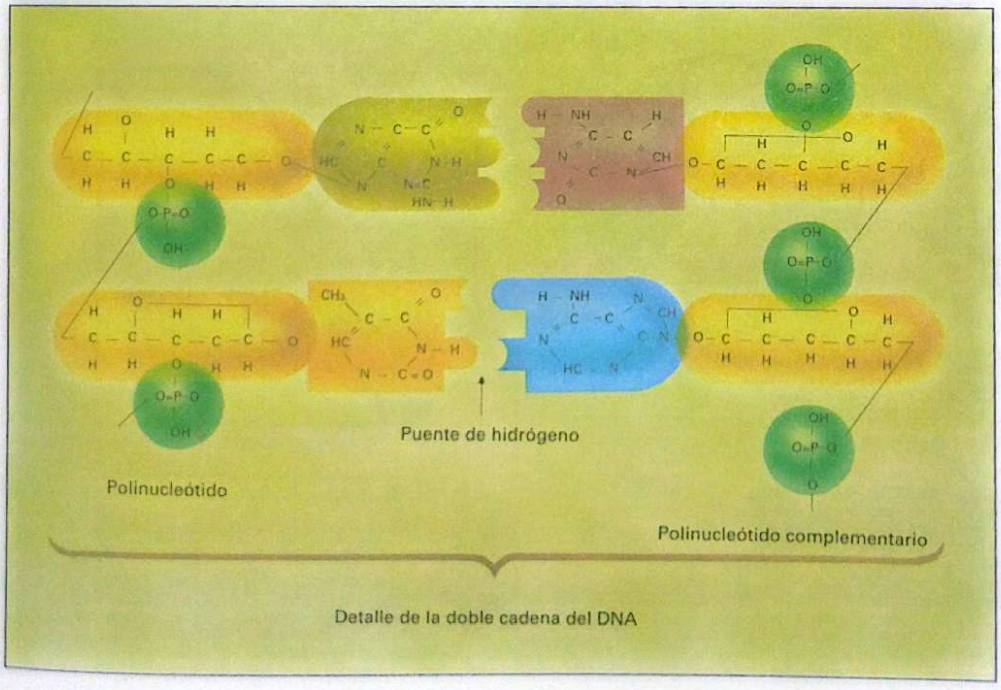
NUCLÉOLO

El nucléolo es un corpúsculo compacto, esférico, muy rico en ARN, carente de membrana pero que aparece bien individualizado en el nucleoplasma. Puede haber uno o más nucléolos en cada núcleo celular, pero las células de cualquier especie dada presentan un número fijo de nucléolos. En él se sintetiza el ARN de los ribosomas o **ARN ribosomal** (ARNr).

Los nucléolos se desorganizan al iniciarse la división de la célula, para volver a aparecer tras la mitosis como regiones específicas de los cromosomas que reciben el nombre de **organizadores nucleolares**.







Tres detalles de la doble hélice del ADN, uno de los componentes de las cromátidas del cromosoma.

Escaneado con CamScanner

La membrana celular 15

La membrana que rodea la célula, no sólo protege su individualidad, sino que se comporta como un elemento activo en el intercambio de sustancias y energía entre el interior y el exterior de la célula.

La membrana o envoltura que limita exteriormente las células es indispensable para que éstas puedan regular su composición interna, manteniendo sus condiciones constantes a pesar de los cambios en el medio externo. Pero no por ello constituye una capa aislante, sino que permite el intercambio de sustancias y energía entre el interior y el exterior de la célula. Esta envoltura, también llamada **membrana plasmática**, lejos de ser inanimada, permite muchas interacciones selectivas, desempeñando múltiples funciones.

FUNCIONES DE LA MEMBRANA PLASMÁTICA

- **Regula el paso de materiales** hacia dentro o fuera de la célula.
- **Recibe información** que permite a la célula detectar cambios en el exterior y reaccionar ante ellos. Los **receptores de membrana** son proteínas que captan los mensajes químicos procedentes de otras células; con ellos se combinan otras sustancias como hormonas, factores del crecimiento y neurotransmisores para formar complejos que en algunos casos pasan a través de la membrana y en otros permanecen en la superficie externa de aquélla enviando señales de estímulos hacia el interior, induciendo algún tipo de reacción.
- **Mantiene relaciones estructurales y químicas** con las células vecinas, mediante una serie de **proteínas de membrana** especializadas.
- **Protege** a la célula y a veces participa en su movimiento o secreción.

UN MOSAICO FLUIDO

La membrana plasmática consta de una bicapa lipídica más o menos fluida en la que están embebidas varias proteínas globulares que pueden moverse a modo de icebergs en un mar de lípidos.

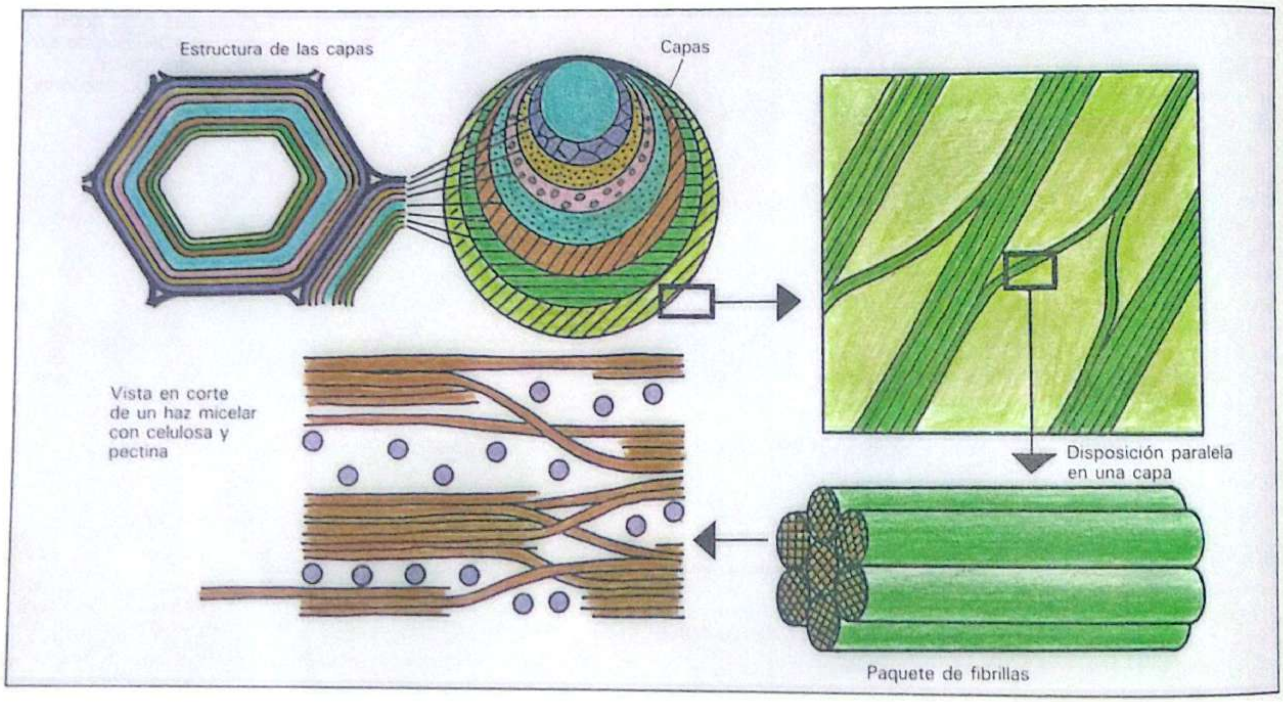
Bicapa lipídica

Está compuesta por moléculas de fosfolípidos, glucolípidos y colesterol, caracterizadas por ser alargadas y *anfipáticas*, es decir que tienen un extremo hidrófilo (afín al agua) muy polar y otro hidrófobo no polar. Las cabezas hidrófobas (cadenas de los ácidos grasos de los lípidos) están dirigidas hacia el interior, mientras que las hidrófilas se orientan hacia el exterior.

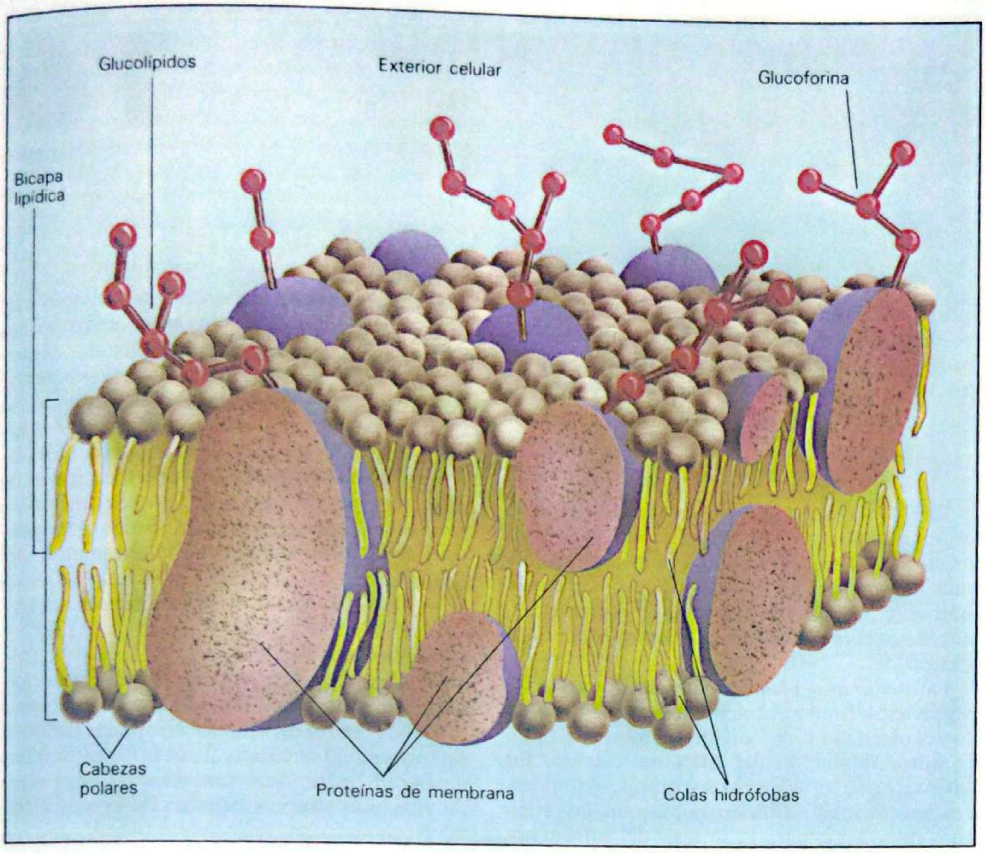
Proteínas de membrana

Las proteínas inmersas en la bicapa (elemento más o menos pasivo de la membrana) representan la parte activa de la membrana, realizando el transporte químico y la transmisión de mensajes. Casi todas están asociadas con la superficie interna (citoplásmica) de la membrana; las que asoman por la superficie

Esquema de la pared de una célula vegetal típica, cuya estructura fina está formada de fibrillas de haces micelares de celulosa y pectina.



Escaneado con CamScanner



Sección de la membrana plasmática, en la que se puede observar su aspecto típico en doble capa lipídica.

externa son en su mayoría glucoproteínas, de modo que casi todas las células están recubiertas de azúcares. Algunas proteínas de membrana ligan ciertas hormonas específicas y transmiten información selecta hacia el interior de la célula: son los llamados **receptores de membrana**.

Según su localización en la membrana se distinguen dos tipos de proteínas:

- Las **proteínas integrales** penetran profundamente en la capa de lípidos y son también anfipáticas.
- Las **proteínas periféricas** son hidrosolubles y están débilmente unidas a la superficie de la membrana.

Microvellosidades

Muchos tipos de células presentan múltiples y pequeñísimas evaginaciones de la membrana celular, las llamadas **microvellosidades**, que amplían su área superficial, con lo que se facilita la absorción de materiales presentes en el medio celular.

Concepto universal de membrana celular

Todas las membranas celulares, tanto la plasmática como la de los diferentes orgánulos subcelulares, tienen la misma estructura de doble capa lipídica, mientras que las moléculas o agrupaciones moleculares inmersas en ella varían en razón a la función que desempeña la membrana. De aquí que los citólogos hayan propuesto el concepto de **membrana unitaria**, **membrana elemental** o **membrana universal** para referirse a todo tipo de membrana celular considerada como una unidad dinámica y en plena actividad.

LA MEMBRANA DE SECRECIÓN: PARED CELULAR Y GLUCOCÁLIZ

Algunas células pueden tener la membrana plasmática recubierta exteriormente por una gruesa envoltura denominada *membrana de secreción*.

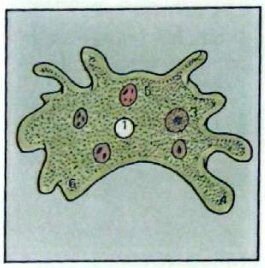
En plantas, algas, bacterias y hongos esta membrana de secreción recibe el nombre de **pared celular**. La rígida pared celular de las plantas está compuesta principalmente de *celulosa* (también *pectina* y *lignina*), se halla perforada en muchos sitios y brinda a la célula sostén y protección.

La membrana de secreción de las células animales se llama **glucocáliz** y sus principales componentes son las *glucoproteínas* (en los procariotas, *peptidoglucano*).

COMUNICACIÓN INTERCELULAR

Las células adyacentes se hallan conectadas mediante especializaciones de la membrana celular que son fundamentalmente de tres tipos:

- Los **desmosomas** son una especie de remaches formados por proteínas que mantienen juntas dos células adyacentes.
- Las **uniones estrechas** son regiones en las que se han fusionado parcialmente las bicapas lipídicas.
- Las **anastomosis** son conexiones que constan de un conjunto de pequeños conductos que atraviesan las membranas de dos células adyacentes y por los que pueden pasar moléculas de bajo peso molecular.



En los organismos unicelulares, la membrana plasmática adquiere especial importancia al ser la envoltura que mantiene constantes las condiciones internas del individuo, al mismo tiempo que permite muchas interacciones selectivas entre éste y el medio externo, desempeñando múltiples funciones. Sobre estas líneas, una ameba en la que se observa la emisión de pseudópodos o evaginaciones de la membrana. 1. Vacuola contráctil. 2. Pseudópodo. 3. Núcleo. 4. Ectoclasma. 5. Vacuola digestiva. 6. Endoplasma.

Escaneado con CamScanner

La célula procariota y los virus

16

La forma de vida más simple conocida hasta el momento son los virus, que no son células propiamente dichas pero sí seres vivos. Las células más simples son los organismos procariotas, es decir, las bacterias y las algas verdeazules.

Los organismos unicelulares de organización procariota son las bacterias y las algas verdeazules o cianobacterias, que no son sino bacterias fotosintéticas. La organización de los virus es todavía más simplificada.

BACTERIAS

El citoplasma de la célula procariota sólo contiene *ribosomas* libres y diseminados, y un *núcleo sin membrana nuclear* compuesto por una sola molécula de ADN en forma de doble hélice circular. Las cianobacterias tienen, además, *cromatóforos* para realizar la función clorofílica.

La *membrana plasmática* presenta unas invaginaciones llamadas **mesosomas** que son los centros del metabolismo celular y dirigen la autoduplicación del ADN del núcleo. En las bacterias fotosintéticas y quimiosintéticas, los mesosomas también contienen las enzimas necesarias para la síntesis del nitrógeno. Algunas bacterias poseen *flagelos*, pero de naturaleza distinta a la de los de las células eucariotas.

Además de la membrana plasmática, las bacterias tienen una pared celular, denominada **pared bacteriana**, formada principalmente por peptidoglucanos.

Plásmidos

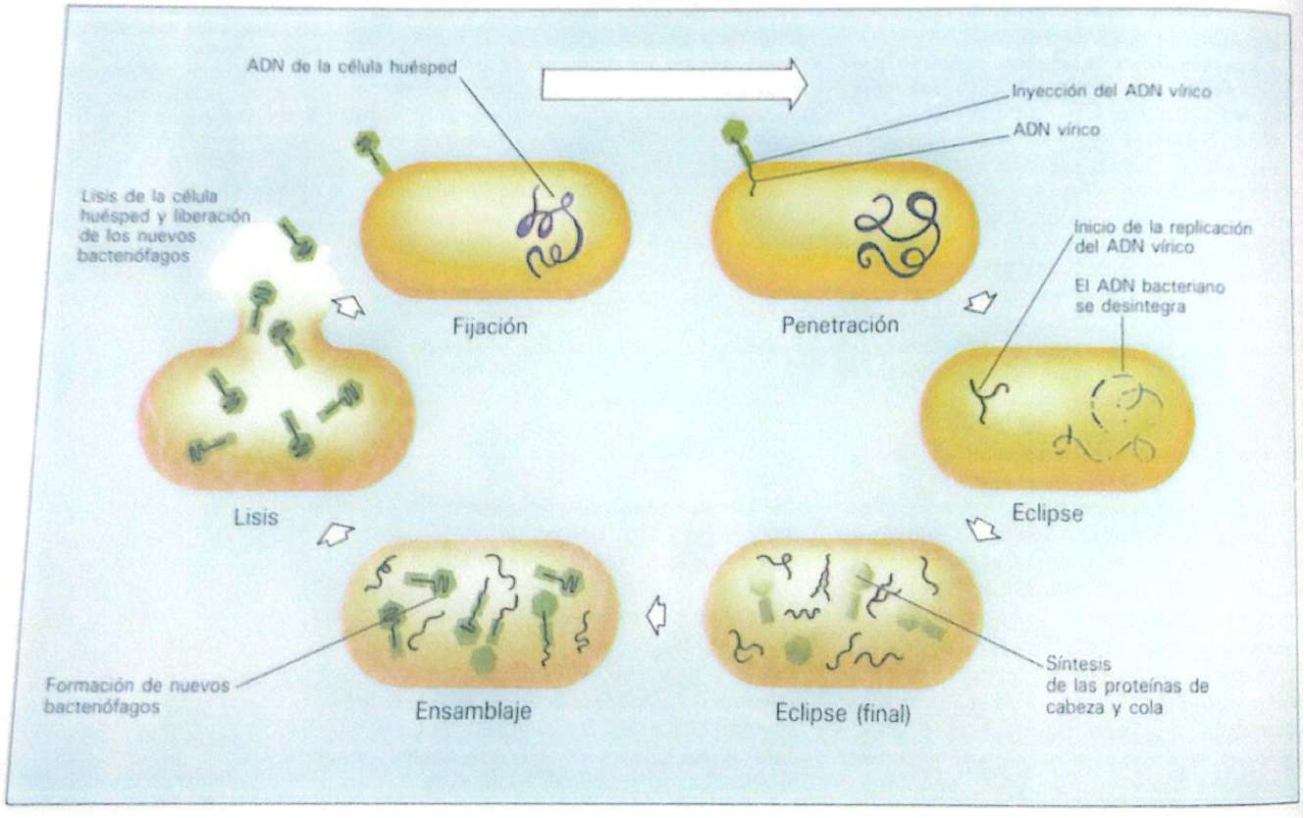
Muchas bacterias contienen, además del cromosoma principal, pequeños cromosomas secundarios de doble hélice circular llamados **plásmidos**, que generalmente son portadores de genes para la desactivación de los antibióticos o la síntesis de toxinas. Participan en la reproducción formando recombinaciones genéticas y transmitiendo genes de una bacteria a otra, constituyendo un rápido mecanismo de transmisión génica. Los plásmidos se replican independientemente del cromosoma del huésped y son muy útiles en la tecnología del ADN recombinante.

Micoplasmas

Son bacterias muy simplificadas, más pequeñas que algunos virus, la mayoría productores de enfermedades, con una finísima membrana plasmática flexible, que carecen de pared bacteriana. Constituyen las formas de vida más simples capaces de crecer y metabolizar de manera independiente.

VIRUS: LA FORMA DE VIDA MÁS SIMPLE

Los virus no son seres celulares, dado que no se mueven por sí mismos y no son capaces de metabolizar de manera independiente



Las fases de que consta el ciclo lítico de multiplicación de un bacteriófago en una célula huésped.

Escaneado con CamScanner

sólo pueden vivir cuando han infectado una célula. Su tamaño se mide en milimicras.

Un **virus** o **virión** consiste en un filamento de ADN o de ARN (pero nunca ambos ácidos nucleicos en un mismo virus) contenido en una envoltura proteica de forma geométrica denominada **cápside** o cápsida, que está integrada por un conjunto de subunidades idénticas, los **capsómeros**, dispuestas en mosaico. Los viriones pueden presentarse desnudos o bien revestidos de una *envoltura lipoproteica*, procedente de una porción de la membrana plasmática de la célula huésped.

Bacteriófagos

Son los virus que infectan bacterias, también denominados simplemente **fagos**. Son específicos para cada especie de bacteria e incluso para cada cepa, y son muy útiles en el laboratorio dada la facilidad del cultivo de fagos dentro de bacterias vivas (los virus sólo se pueden cultivar en un medio vivo).

Cómo actúa un virus virulento

Al infectar una célula huésped, el virus utiliza la maquinaria metabólica de ésta para replicar su ácido nucleico y producir sus proteínas específicas. Los pasos de la infección son:

- **Fijación** a la superficie de la célula huésped a través de receptores específicos.
- **Penetración** en el citoplasma de la célula huésped. Los fagos inyectan su ADN a través de la membrana, permaneciendo la cápside fuera de dicha membrana.
- **Autoduplicación** y **síntesis de moléculas virales** utilizando los ribosomas de la célula huésped, su energía y sus enzimas.
- **Autoensamblaje** de los componentes virales sintetizados para producir viriones completos.
- **Liberación** mediante la producción de *lisozima*, enzima que degrada la membrana celular de la célula huésped. El resultado es la lisis y muerte de la célula infectada y la liberación de las nuevas generaciones de viriones.

Los virus lisógenos

Los virus atenuados o lisógenos integran su ADN al ADN del huésped y se replican cuando se replica este último, sin destruir la célula huésped y a veces confiriendo a ésta nuevas propiedades (**conversión lisógena**).

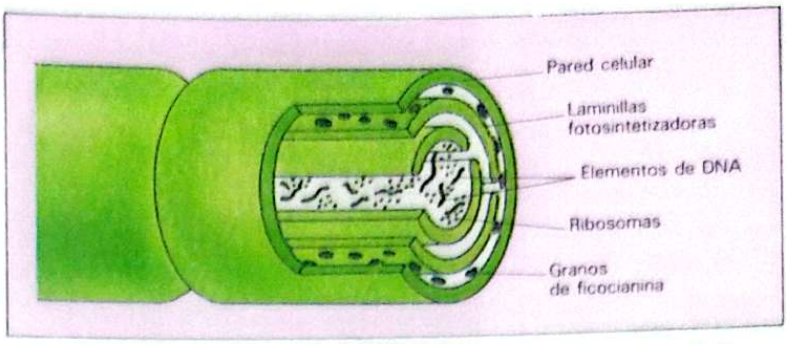
Los fagos liberados a partir de células lisógenas pueden contener una porción del ADN bacteriano, lo que puede provocar la **transducción** de ese segmento a un nuevo huésped.

En ciertas infecciones virales los virus se ensamblan y liberan lentamente, mientras la célula huésped continúa sus actividades metabólicas sufriendo un daño mínimo.

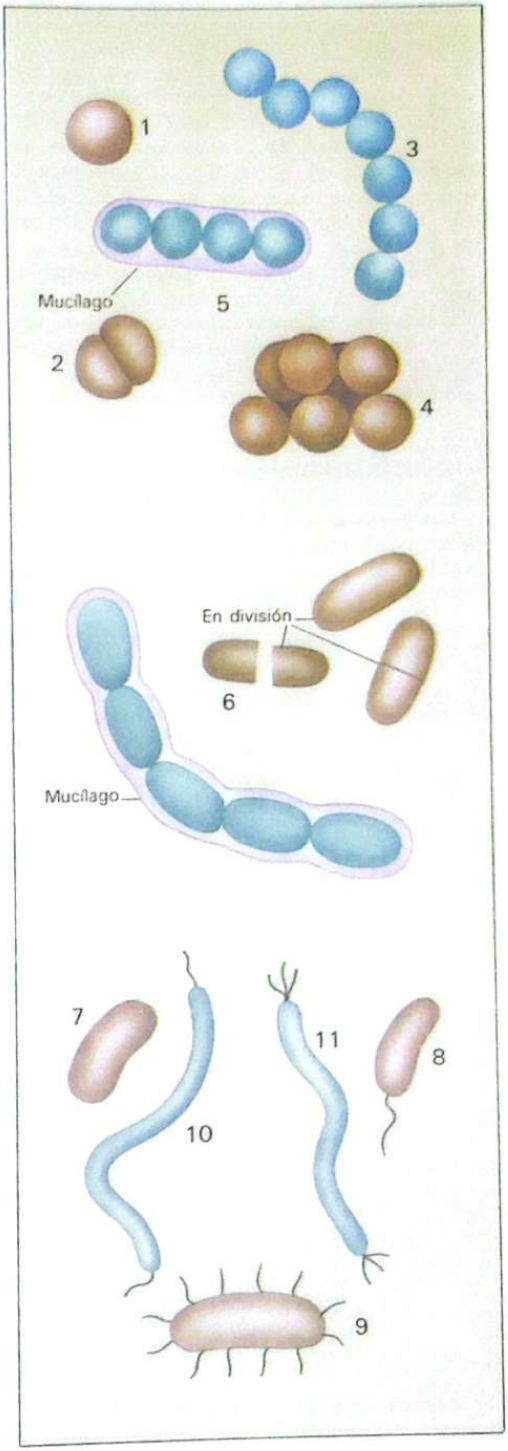
Viroides y priones

Un **viroide**, aún más simplificado que un virus, consta de una cadena de ARN muy corta y desnuda que sólo puede codificar una sola proteína.

Un **prión**, aún más pequeño que el viroide, consta únicamente de una sola proteína hidrófoba, sin que se haya detectado hasta el momento ningún tipo de ácido nucleico. Viroides y priones son patógenos.



Arriba, estructura de la *Oscillatoria*, una alga verdeazul (cianofícea), organismo procariota fotosintetizador.



Diferentes tipos de bacterias: 1. Micrococo. 2. Diplococos en división. 3. Estreptococos. 4. Estafilococos. 5. Estreptococos rodeados de mucílago. 6. Bacilos. 7, 8, 9. Vibrios con diferentes tipos de flagelos. 10, 11. Espirilos con diferentes tipos de flagelos.

Escaneado con CamScanner

Los seres unicelulares eucariotas

17

Entre los organismos cuyo cuerpo está formado por una sola célula se halla la frontera entre la vida vegetal y la vida animal. Son seres microscópicos, pero muy complejos, ya que carecen de órganos especializados en distintas funciones.

Los seres unicelulares tienen su cuerpo formado por una sola célula, la cual realiza todas las funciones vitales (metabólicas, sensoriales, locomotrices, reproductoras, etc.). Ello explica que en muchos casos estos seres alcancen una complejidad muy superior a la de cualquier célula de un organismo pluricelular. Aunque puedan formar **colonias**, en ellas cada individuo mantiene su independencia vital a todos los niveles (metabólico, reproductor, etc.): todos los componentes de una colonia son iguales; no hay diferenciación entre ellos para la realización de distintas funciones.

Las bacterias y los microplasmas están formados por una sola célula procariota, cuya organización se halla descrita en el capítulo 16. Todos los demás seres unicelulares son de organización eucariota y constituyen el reino **Protista**.

GENERALIDADES

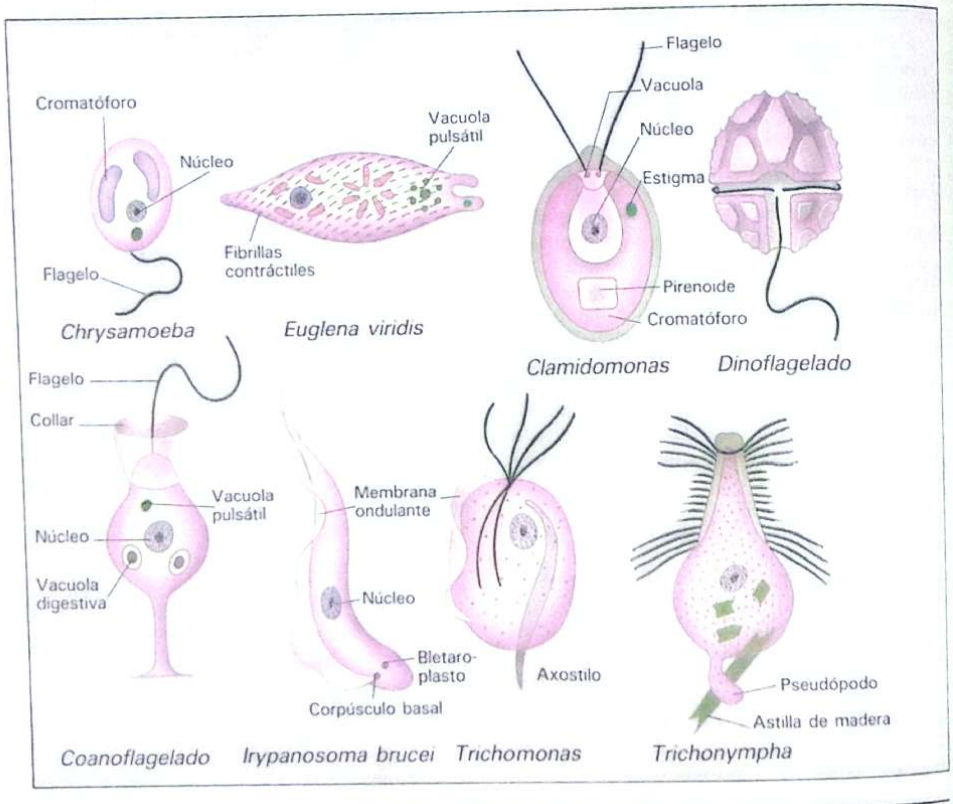
Los protistas son en su mayoría **microscópicos** y la **forma** de su cuerpo varía enormemente con la especie; incluso hay formas (amibas) que se deforman continuamente. Algunos poseen, además de **membrana plasmática**, una **pared celular**, mientras que otros pueden tener formaciones esqueléticas a modo de **caparazón**.

El **citoplasma** de los protistas contiene todos los orgánulos típicos de la célula eucariota más otros exclusivos de ellos, que son de tipo contráctil (**mionemas**, **vacuolas contráctiles**) o con otras finalidades, como, por ejemplo, regular el movimiento de los cilios y flagelos (**aparato neuromotor**). En general posee un solo **núcleo**, pero hay protistas con dos y con más núcleos.

La **locomoción** se realiza mediante orgánulos subcelulares especiales de tres tipos básicos: **pseudópodos**, **cilios** y **flagelos**. Y la **reproducción** puede ser por vía asexual o por vía sexual, siendo muy frecuentes los ciclos reproductores en los que hay **alternancia de generaciones** asexuales y sexuales.

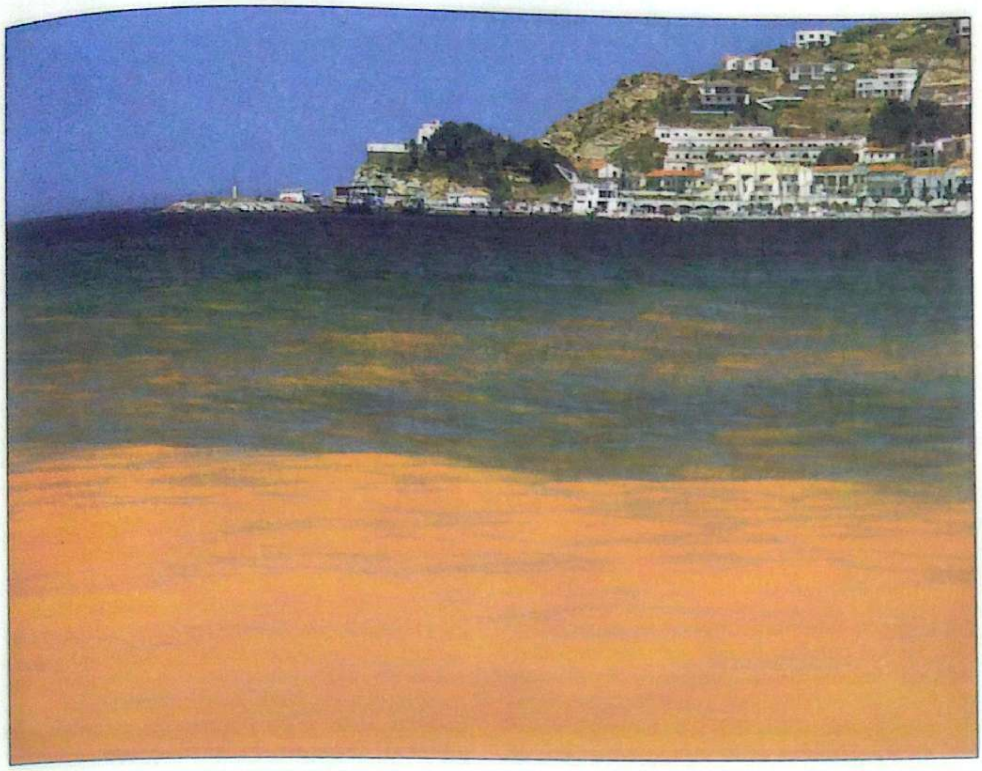
¿ANIMALES O VEGETALES?

Los protistas están en la base de la evolución de los organismos eucariotas, por tanto no es extraño que en este reino exista la frontera entre la vida vegetal y la vida animal. De



La complejidad de los organismos unicelulares eucariotas (Protistos) se debe a la carencia de órganos especializados en las distintas funciones vitales. En la ilustración se observan sólo algunas de las muchas formas existentes de flagelados, el grupo de protistos que se encuentra en la frontera entre la vida vegetal y la vida animal.

Escaneado con CamScanner



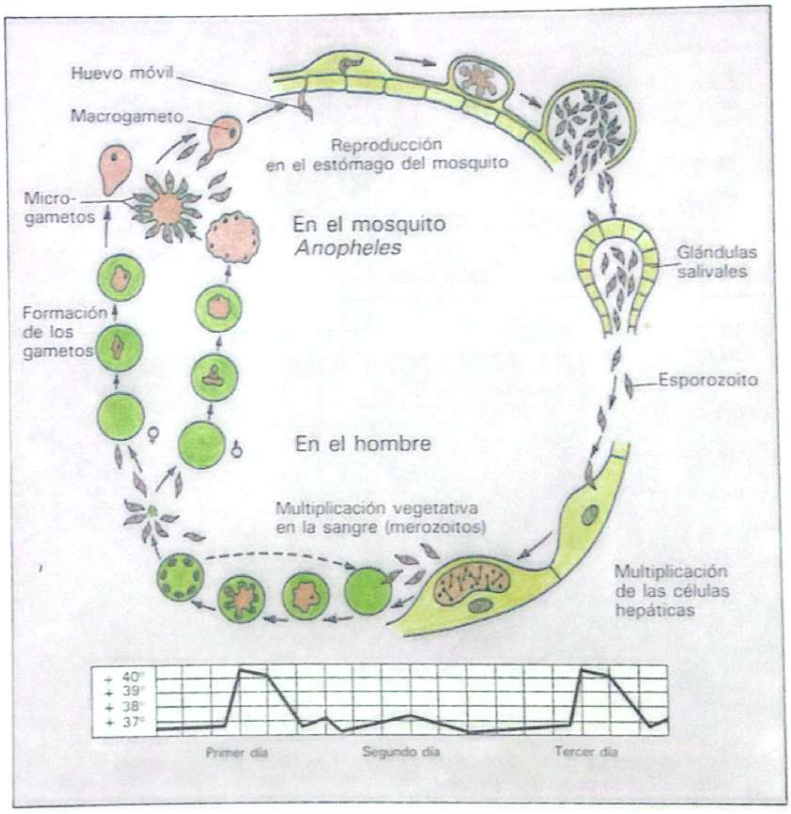
El fenómeno de la marea roja es debido a algas unicelulares provistas de un caparazón de celulosa formado por placas y provisto de largos apéndices móviles. Pertenecen al grupo de los Dinoflagelados y viven en el plancton.

hecho, los taxónomos dividen el reino Protista en dos subreinos: los protistas tipo alga y los protistas tipo animal.

- Los **Protistas tipo animal** (también denominados *Protozoarios*) presentan nutrición heterótrofa, con muchas formas nutricionales: consumidores, depredadores, parásitos e incluso simbiontes. El filum **Mastigophora** (mastigóforos) es colocado por la mayoría de los teóricos en la base del árbol filogenético de los protistas, y se cree que dio origen a las plantas y los animales e incluso a los hongos. Los mastigóforos son formas flageladas, en ocasiones con una etapa amiboide, y presentan todos los mecanismos nutricionales, pues algunos tienen cloroplastos y son autótrofos.
- Los **Protistas tipo alga** son autótrofos fotosintetizadores y presentan pared celular: silícea en el filum de las **crisofitas** y celulósica en las **prirrofitas** (antes *Dinoflagelados*). Las conchas silíceas de la *diatomeas*, las crisofitas de mayor importancia, forman grandes depósitos geológicos, mientras que algunas especies de pirrofitas forman las *mareas rojas*.

IMPORTANCIA ECOLÓGICA

En general, los protistas son organismos acuáticos y forman una parte muy importante del plancton, tanto marino como dulceacuícola. En particular, se calcula que las tres cuartas partes de toda la materia orgánica que se sintetiza en el mundo y una buena parte del oxígeno atmosférico son el resultado de la actividad de las diatomeas y de los dinoflagelados. Otros protistas deben su importancia al hecho de ser ávidos descomponedores. Otros son depredadores, como los ciliados (protozoarios del filum *Ciliata*), que se alimentan en su mayoría de bacterias, levaduras y algas. Por último, otros son parásitos de organismos pluricelulares, como el *Plasmodium* causante del paludismo, que es un esporozoario (protozoario del filum *Sporozoa*).



Ciclo del agente de la malaria, un esporozoario del género *Plasmodium* que penetra en la sangre del hombre junto con la saliva del mosquito *Anopheles*.

Escaneado con CamScanner

Organización pluricelular: los tejidos vegetales

18

Los hongos, las algas y las plantas no vasculares, aunque son seres pluricelulares carecen de verdaderos tejidos. Las plantas vasculares, adaptadas a la vida terrestre, son las que tienen verdaderos tejidos diferenciados.

Así como en los organismos unicelulares la división celular origina dos nuevos individuos, en los seres pluricelulares las dos nuevas células permanecen asociadas para integrarse al organismo entero. Las células de un ratón y las de un elefante tienen el mismo tamaño; el elefante es más grande simplemente porque su cuerpo está formado por un mayor número de células, lo cual depende del programa genético de sus genes.

ESPECIALIZACIÓN Y COORDINACIÓN

La pluricelularidad implica la especialización de las células, lo que permite una división del trabajo fisiológico entre los diferentes tipos de células. Por ejemplo, unos tipos de células están especializadas en la fotosíntesis (en las plantas), otras a la conducción de estímulos (células nerviosas), etc.

Pero la especialización exige una coordinación de las diferentes funciones que realizan los distintos tipos de células. La asociación de dichas células es lo que da lugar a la formación de tejidos, órganos, aparatos y sistemas, y para que el conjunto sea funcional son necesarios tres niveles de actividad:

- **Transporte de materiales** para hacer llegar el alimento a todas las células del organismo y eliminar los productos de desecho (vasos conductores de las plantas y aparato circulatorio de los animales).
- **Control fisiológico** de todas las células y sus funciones (hormonas vegetales y animales).
- **Conducción de los impulsos** (sistema nervioso, exclusivo de los animales).

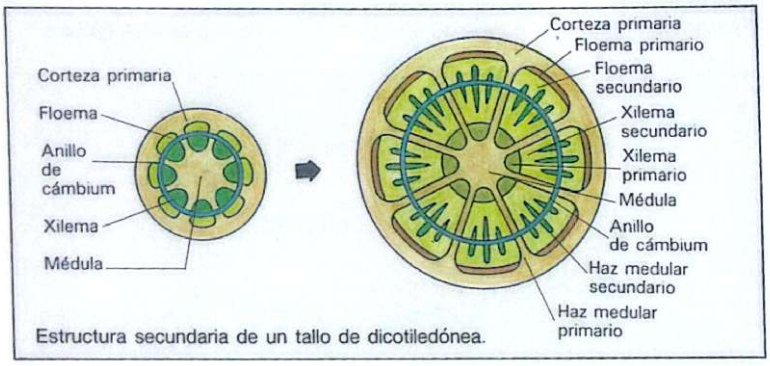
TEJIDOS VEGETALES

Los vegetales presentan dos tipos de organización celular bien diferenciados. Los hongos, las algas y las plantas no vasculares en general carecen de verdaderos tejidos y vasos; las divisiones celulares tienen lugar en un plano y los nutrientes llegan directamente a todas las células sin necesidad de un sistema especializado de transporte. Es la organización tipo **talo**.

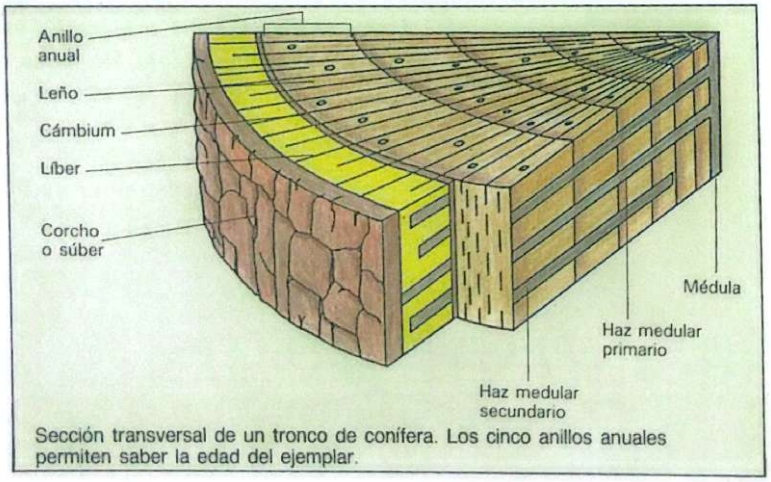
Las plantas vasculares, adaptadas ya a la vida terrestre y aérea, son las que tienen verdaderos tejidos diferenciados. Es la organización tipo **cormo**, con raíces, hojas y tallos verdaderos, los tres órganos de las plantas superiores.

Tejido meristemático o meristemo

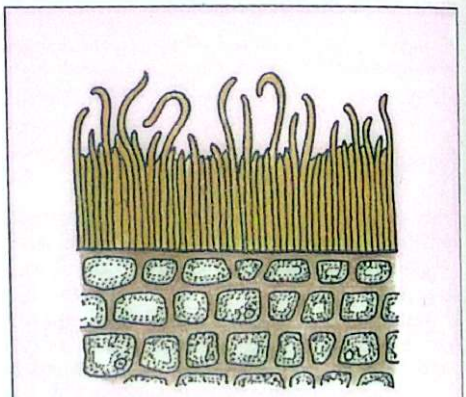
Los tejidos meristemáticos están formados por células con grandes núcleos, con paredes celulares delgadas y sin vacuolas (o muy pocas), y su principal función es crecer, dividirse y diferenciarse para producir los demás tejidos. Los meristemos responsables del crecimiento en longitud (**meristemo primario**) se encuentran en los extremos de tallos y raí-



Estructura secundaria de un tallo de dicotiledónea.



Sección transversal de un tronco de conífera. Los cinco anillos anuales permiten saber la edad del ejemplar.


Epidermis de un tallo de caña de azúcar, revestida de bastoncitos de cera.

Escaneado con CamScanner

Las plantas de organización tipo talo, como las algas del género Codium (sobre estas líneas), carecen de verdaderos tejidos. Arriba, izquierda, troncos de plantas vasculares, con verdaderos tejidos.

ces; los responsables del crecimiento en espesor o lateral (**meristemo secundario**) se encuentran en el *cambio* y en el *felógeno*.

Tejidos adultos

Son los tejidos ya diferenciados y especializados en mayor o menor grado: tejidos tegumentarios, vasculares, fundamentales, de secreción y de excreción.

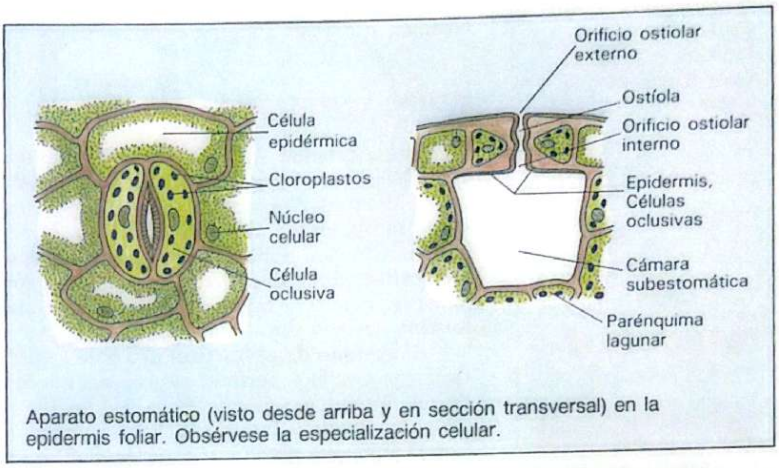
• Los **tejidos tegumentarios** constituyen la cubierta externa de raíces, tallos y hojas. El tejido tegumentario primario es la **epidermis**, de una sola capa de células que protegen a la planta y limitan las pérdidas de agua por evaporación. En las hojas presenta células oclusoras especializadas que rodean los *estomas* y en la raíz, células que proyectan los *pelos absorbentes*. Cuando la planta crece en espesor la epidermis es sustituida por tejidos tegumentarios secundarios: el **felógeno** o meristemo secundario, el cual produce una capa protectora de células muertas llamada **súber** hacia el exterior y otra capa hacia el interior.

• Los **tejidos vasculares** son dos: el **xilema**, formado por la agrupación de *vasos leñosos*, y el **floema**, formado por la agrupación de *vasos cribosos*. Los vasos leñosos conducen el agua y las sustancias disueltas hasta las hojas, donde son elaboradas y de ahí distribuidas a toda la planta a través de los vasos cribosos.

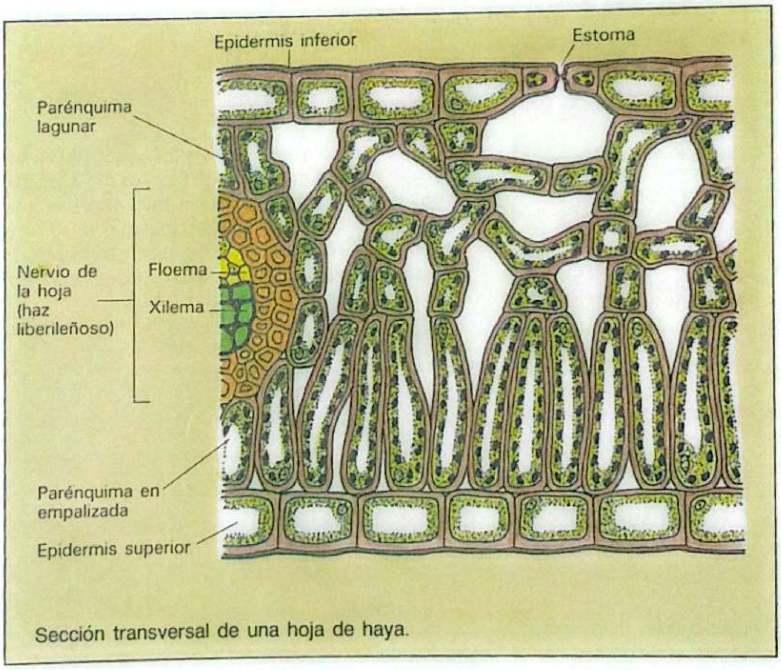
• Los **tejidos fundamentales** están formados por células poco diferenciadas que constituyen la masa principal de la planta; principalmente desempeñan funciones de producción y almacenamiento de alimento, y de sostén. El tipo más simple y el menos diferenciado es el **parénquima**, que interviene en la cicatrización de heridas y en los procesos regenerativos. El **clorénquima** forma la mayor parte del interior de las hojas y contiene los cloroplastos dentro los cuales tiene lugar la fotosíntesis. Hay dos tejidos fundamentales mecánicos o de sostén: el **colénquima**, situado debajo de la epidermis de los tallos jóvenes y de los pecíolos, y el **esclerénquima**, de paredes gruesas y lignificadas y de gran resistencia mecánica.

• Los **tejidos de secreción** están especializados en la expulsión de determinadas sustancias fuera del citoplasma, como los tubos resiníferos de los pinos o los laticíferos que producen látex.

• Los **tejidos de excreción** están especializados en el almacenamiento de sustancias especiales, en particular productos de desecho, ya que las plantas carecen de aparato excretor. Por tanto, presentan vacuolas donde se acumulan dichas sustancias; las células acaban por morir.



Aparato estomático (visto desde arriba y en sección transversal) en la epidermis foliar. Obsérvese la especialización celular.



Sección transversal de una hoja de haya.

Escaneado con CamScanner

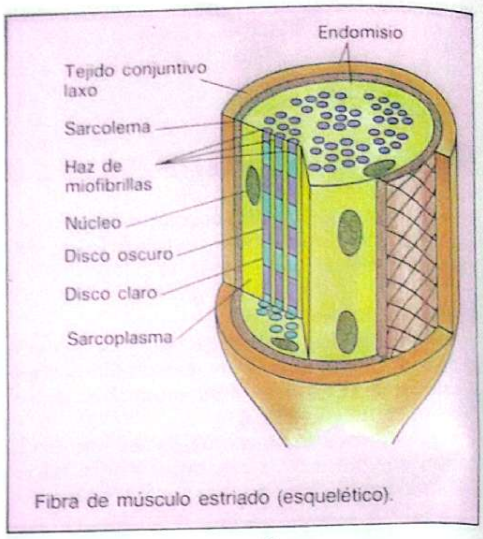
Tejidos animales

19

En los animales, los tejidos se reúnen para formar órganos especializados en un tipo de actividad, de forma que un determinado órgano puede estar formado por varios tejidos diferentes. Un conjunto de órganos coordinados para desarrollar una función específica constituye un aparato.

Generalmente los **tejidos** animales se clasifican en cuatro tipos fundamentales: epitelial, conectivo, muscular y nervioso. Otras clases de tejidos como el óseo o la sangre son formas de tejido conectivo.

Los tejidos se reúnen para formar **órganos** especializados en un tipo de actividad (corazón, estómago, etc.), de forma que un determinado órgano puede estar formado por varios tejidos diferentes. Un conjunto de órganos coordinados para desarrollar una función específica (por ejemplo, la respiración) constituye un **aparato**. Y un conjunto de órganos de la misma clase de tejidos y distribuidos por todo el organismo con una misma función es lo que se llama un **sistema** (sistema nervioso, sistema endocrino, etc.).



Fibra de músculo estriado (esquelético).

TEJIDO EPITELIAL O EPITELIO

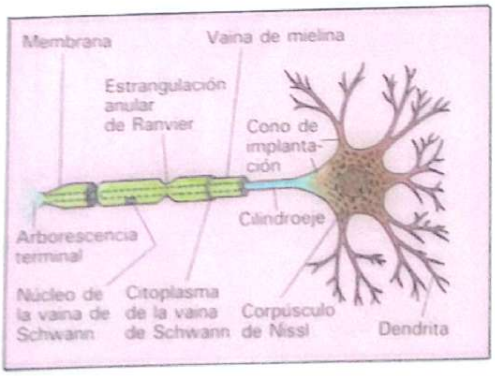
El tejido epitelial está compuesto por células estrechamente yuxtapuestas, formando una trama continua, separadas por una porción muy fina de sustancia intercelular. Puede ser **simple** (formado por una sola capa de células) o **estratificado** (con dos o más capas). Los epitelios no tienen ni origen embrionario ni una función única y son de dos tipos:

- El **epitelio de revestimiento** o **de superficie** recubre la superficie externa del cuerpo de los animales o tapiza las cavidades internas y los órganos huecos.
- El **epitelio glandular** está más diferenciado y forma conjuntos de células secretoras llamadas glándulas.

Diversos tipos de tejidos epiteliales de revestimiento.

TEJIDO CONECTIVO

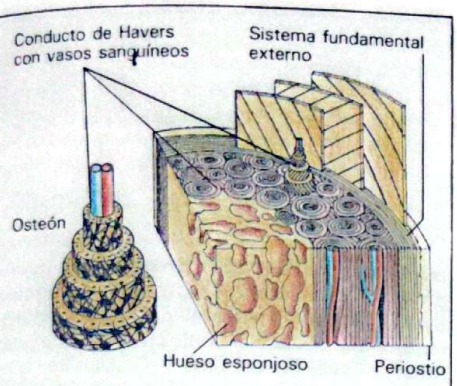
Los distintos tipos de tejido conectivo derivan del *endodermo* y están formados por pocas células embebidas en una extensa sustancia intercelular. Esta sustancia, a su vez, consta de fibras microscópicas entrelazadas y dispuestas dentro de una matriz secretada por las células. La naturaleza de las fibras, la matriz y las células determina la índole y función de cada tipo de tejido conectivo. La principal función de los tejidos conectivos es de sostén y protección, además de unir a los demás.



Célula nerviosa multipolar típica.

- El **tejido conectivo laxo** es muy flexible (matriz semilíquida) y juega un papel de relleno en muchas partes del cuerpo, rodea nervios, vasos y músculos, y, junto con el tejido adiposo, forma la capa subcutánea.
- El **tejido conectivo denso** es menos flexible pero muy fuerte debido a la presencia de **fibras colágenas**. Los tendones están formados por este tipo de tejido.
- El **tejido conectivo elástico**, formado principalmente por haces de **fibras elásticas** paralelas, se encuentra en los ligamentos, en las grandes arterias y en el tejido pulmonar.
- El **tejido conectivo reticular** está formado por **fibras de reticulina** entrelazadas y constituye una red de sostén de muchos órganos (hígado, bazo, nódulos linfáticos, etc.).
- El **tejido adiposo**, rico en células llenas de grasa, es un tejido de reserva, pero que puede desempeñar funciones mecánicas (hace de cojinete a los órganos internos) y de soporte (por ejemplo, en la glándula mamaria). Deriva del tejido reticular.
- El **tejido cartilaginoso** o **cartílago** está formado por células llamadas **condrocitos**, que secretan una matriz dura y **fibras colágenas**. Tiene gran resistencia a la compresión, pero no a la tracción, forma el esqueleto de las fases embrionarias de todos los vertebrados y en el adulto es reemplazado en su mayor parte por tejido óseo. No contiene vasos ni nervios.
- El **tejido óseo** es el principal tejido esquelético de los vertebrados y, a diferencia del cartílago, está muy vascularizado gracias

Escaneado con CamScanner



Estructura interna de un hueso largo.

a la presencia de canales llamados **conductos de Havers** por donde pasan los vasos sanguíneos, linfáticos y nervios. Las células óseas reciben el nombre de **osteocitos**.

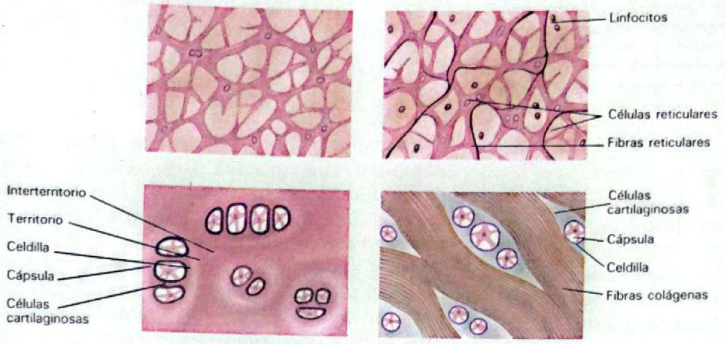
• La **sangre** consiste en un medio líquido (**plasma**) en el que se hallan en suspensión diversos tipos de células (**glóbulos rojos, glóbulos blancos** y **plaquetas**). El plasma es una solución acuosa de sales inorgánicas que contiene, además, glúcidos, lípidos y las proteínas plasmáticas (albúminas, globulinas y fibrinógeno).

TEJIDO MUSCULAR

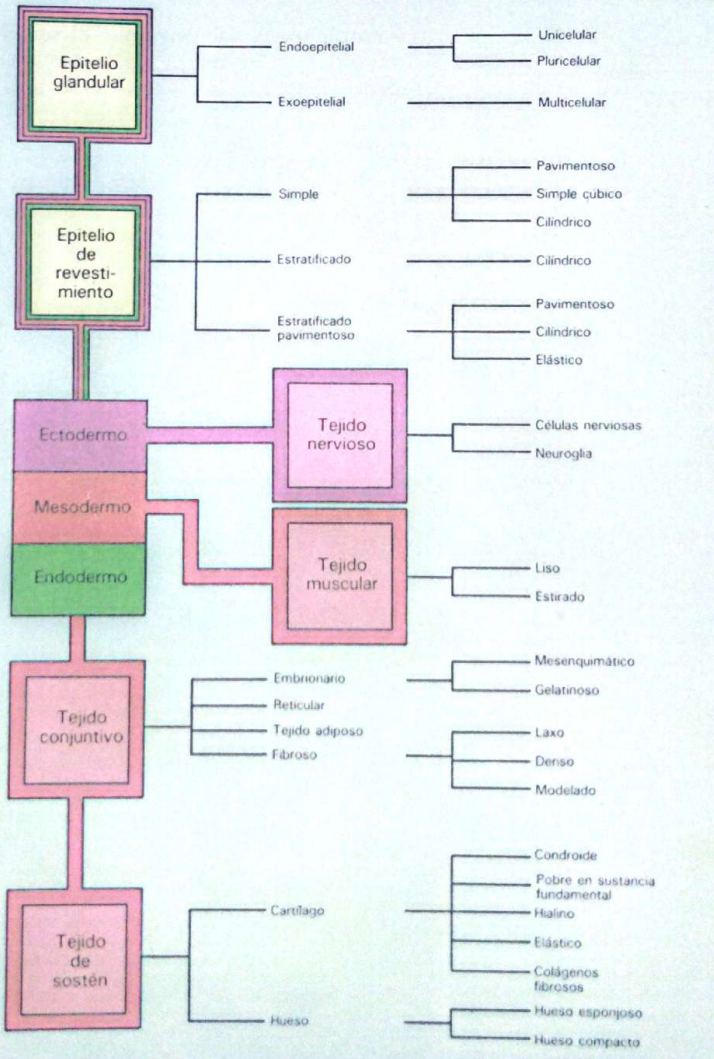
Casi todos los movimientos que realizan los animales se deben a la contracción de las células en forma de huso (**fibras**) que forman el tejido muscular, que tiene su origen en el *mesodermo*. Cada una de estas fibras es un haz de **miofibrillas**, compuestas fundamentalmente por las proteínas **miosina** y **actina**. En el reino animal se distinguen tres tipos de tejido muscular: cardíaco, liso o visceral y esquelético o estriado. Los **músculos esqueléticos**, también llamados **estriados**, forman las masas musculares unidas a los huesos de los vertebrados y la mayoría de los músculos de los artrópodos, y son de control voluntario. El **músculo liso** o **visceral**, propio de la pared de los órganos internos y del cuerpo de muchos invertebrados (moluscos), es de control involuntario. El **músculo cardíaco** sólo se presenta en el corazón y, aunque es estriado, es de contracción involuntaria.

TEJIDO NERVIOSO

El tejido nervioso, derivado del *ectodermo*, está compuesto por células muy especializadas en la conducción de impulsos (**neuronas**) y células que las sostienen y nutren formando la **neuroglia**, que viene a sustituir al tejido conectivo. Las neuronas constan de un **axón** o **cilindroeje** (prolongación larga y no ramificada que es la vía de calidad del impulso) y, en el extremo opuesto, ninguna, una o varias **dendritas** (prolongaciones que actúan como receptores sensitivos). Las neuronas se comunican en uniones llamadas **sinapsis**. Un **nervio** es un conjunto de muchas fibras nerviosas unidas por tejido conectivo.



Arriba: tejido conectivo embrionario (izquierda) y reticular (derecha). Sobre estas líneas: cartílago hialino (izquierda) y fibroso (derecha).



Origen y clasificación de los principales tejidos animales.

Escaneado con CamScanner

Los seres vivos y la energía: nutrición

20

La nutrición es el conjunto de los procesos mediante los cuales los seres vivos incorporan materia y energía al interior de sus células, las transforman en otras sustancias o en otro tipo de energía y excretan los productos de desecho resultantes.

Los seres vivos sólo pueden mantener su actividad vital gracias a un continuo intercambio de materia y energía con el medio que los rodea. El **flujo de energía** a través del mundo biótico comienza con la captura de la energía radiante del Sol durante el proceso de fotosíntesis. La **nutrición** es el conjunto de los procesos mediante los cuales los organismos incorporan materia y energía al interior de sus células, las transforman en otras sustancias o en otro tipo de energía y excretan los productos de desecho resultantes.

TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA EN LOS ORGANISMOS VIVIENTES

La nutrición celular exige que el ser vivo sea eficaz en la **ingestión** de las sustancias nutrientes, en su transformación para que lleguen en condiciones de atravesar las membranas celulares (**digestión**, **respiración**) y en el **transporte** o **circulación** de dichas sustancias hasta las células.

Una vez en el interior de la célula, los nutrientes sufren todo un conjunto de reacciones químicas que recibe el nombre de **metabolismo**. Los nutrientes, en el lenguaje biológico, incluyen no solamente los alimentos y el agua, sino también el oxígeno, el anhídrido carbónico y la energía luminosa y química.

En el mundo vivo se distinguen tres procesos principales de transformación de energía:

- En la **fotosíntesis** la energía radiante del Sol se transforma en energía química, que queda almacenada en los enlaces de los carbohidratos y otras moléculas complejas sintetizados.
- Mediante la **respiración celular**, esta energía pasa a una nueva forma: los enlaces fosfato producidos en la degradación escalonada de la glucosa y otras moléculas.
- El **trabajo celular** se produce cuando la energía química de los enlaces fosfato es utilizada por la célula para realizar trabajo. Este trabajo puede ser muscular (contracción muscular), eléctrico (impulsos nerviosos), osmótico (transporte de moléculas en contra de un gradiente de concentración) o químico (síntesis de nuevas moléculas para el crecimiento de la célula o el almacenamiento de energía).

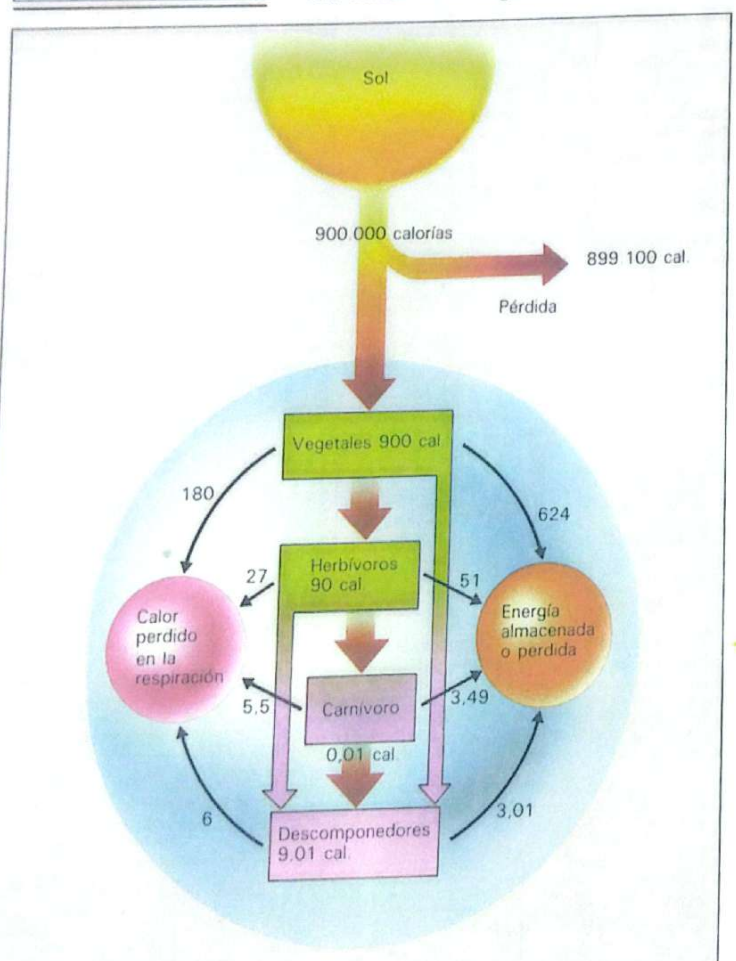


Diagrama del flujo de energía, medida en cal/cm²/año, en un ecosistema imaginario.

TIPOS DE NUTRICIÓN

Según la naturaleza de los nutrientes y la forma de adquirir la energía, se distinguen dos tipos de nutrición: autótrofa y heterótrofa.

Nutrición autótrofa

En el autotrofismo las sustancias nutritivas son materias minerales (sales disueltas, anhídrido carbónico y agua), que son transformadas en materia orgánica rica en energía. Los organismos autótrofos sintetizan, por tanto, materia orgánica a partir de materia inorgánica o mineral.

Según el tipo de energía utilizado por los organismos para dicha transformación se distinguen dos tipos de nutrición autótrofa: fotosíntesis y quimiosíntesis.

- En la **fotosíntesis** la fuente energética procede de la luz solar. Los organismos fotosintetizadores son las *plantas verdes* (con clorofila), la mayoría de las *cianobacterias* (algas verdeazules), las *bacterias sulfurosas verdes* y las bacterias púrpura.

Escaneado con CamScanner

COLEGIO NUESTRA Sra. DE LA PAZ
BIBLIOTECA

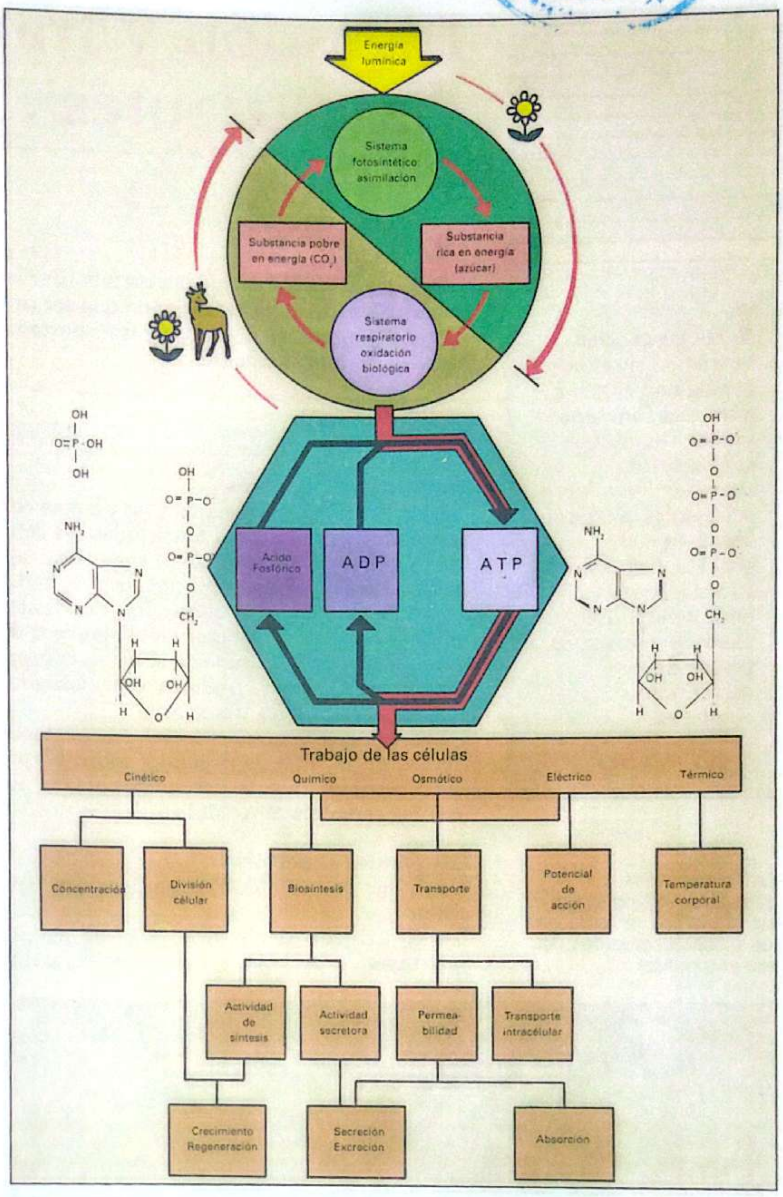
En la **quimiosíntesis** la fuente energética procede de reacciones exotérmicas (liberan energía) de oxidación de compuestos inorgánicos que se producen en el medio ambiente. Los organismos quimiosintetizadores son ciertas bacterias principalmente representadas por *nitrobacterias*, *sulfobacterias* y *ferrobacterias*.

Nutrición heterótrofa

En el heterotrofismo las sustancias nutritivas son materias orgánicas ricas en energía (carbohidratos, lípidos, proteínas), pues los seres heterótrofos son incapaces de tomar energía libre para transformar materia inorgánica en orgánica. Estos organismos viven, por tanto, a expensas de la materia orgánica (viva, muerta o en descomposición) sintetizada por los autótrofos, o a expensas de otros seres heterótrofos. Son heterótrofos la mayoría de las *bacterias*, los *hongos* y todos los *animales*.

Las principales modalidades de nutrición heterótrofa son las siguientes:

- **Simbiosis**. Es la unión de dos organismos mediante la cual ambos adquieren beneficios de tipo nutritivo.
- **Parasitismo**. Es aquella modalidad nutritiva mediante la cual un organismo obtiene el alimento a expensas de otro llamado *huésped*, sea ingiriendo partes del cuerpo del huésped o sustancias ya digeridas por éste.
- **Saprofitismo**. Es la alimentación a base de materia orgánica en descomposición. Los *saprobiontes* o *descomponedores* desintegran materia orgánica muerta mediante procesos de *fermentación* o *putrefacción*, obteniendo de este modo productos que absorben directamente a través de sus membranas.
- **Necrofagia**. Es la nutrición por ingestión y digestión (no por fermentación) de organismos muertos, o residuos como excrementos (*coprofagia*), etc.
- **Biofagia**. Es la nutrición por ingestión y digestión de seres vivos previa la captura de éstos. Es propia de animales, aunque se da en algunos vegetales (plantas carnívoras).



Arriba, diagrama del flujo de la energía en el metabolismo.

Muchos hongos superiores establecen relaciones de simbiosis con las raíces de los árboles circundantes. En particular, el níscalo (foto) forma simbiosis con los pinos.

Escaneado con CamScanner

Digestión y transporte de nutrientes

21

Las sustancias nutritivas que todo organismo ingiere para sus funciones vitales tienen que ser digeridas y transportadas hasta las células mediante algún tipo de sistema circulatorio. El transporte se completa con el paso de nutrientes a través de las membranas celulares.

Para que las células puedan metabolizar las sustancias nutritivas, éstas tienen que ser previamente ingeridas, digeridas y transportadas hasta la membrana celular.

VEGETALES

Las plantas inferiores

Los vegetales unicelulares y las plantas con organización tipo talo, al tener todas sus células en contacto directo con el agua, éstas absorben directamente el oxígeno y el anhídrido carbónico, así como los nutrientes líquidos y sólidos presentes en el agua por difusión a través de la superficie de su cuerpo. No necesitan, pues, órganos especializados en la absorción y el transporte.

Los hongos y otros vegetales saprófagos vierten en la materia orgánica sobre la que viven enzimas que la descomponen en nutrientes sencillos absorbibles.

Las plantas superiores

En las plantas con organización tipo cormo:

- El **oxígeno** tiene varias vías de acceso –**estomas** de las hojas y tallos tiernos, **pelos absorbentes** de las raíces (con el agua del suelo) y **lenticelas** de los tallos leñosos– y llega a todas las células a través de los **espacios aeríferos**.
- El **anhídrido carbónico** entra por los **estomas** de las hojas y en las mismas células superficiales de aquéllas desempeña el papel que le corresponde en la *fotosíntesis*.
- El **agua** y las **sales minerales** disueltas en el suelo son absorbidas por las raíces a través de sus **pelos absorbentes** y penetran en los **vasos leñosos de la raíz**, iniciándose la fase de transporte. Al tratarse de sustancias sencillas, los nutrientes no necesitan de una *digestión* para ser incorporados a las células de la planta.

En los vegetales superiores, el transporte de los nutrientes se inicia en los pelos absorbentes del sistema radical.

Sistema circulatorio de las plantas superiores

Los tejidos conductores de las plantas superiores están situados en el tallo y en las nervaduras de las hojas.

- Los **pelos radicales** absorben activamente la mayor parte de las sustancias nutritivas, que luego pasan a través de los tejidos corticales de la raíz para llegar hasta el cilindro vascular central.
- El **xilema** transporta el agua y los minerales absorbidos por las raíces (**savia bruta**) hasta las partes aéreas de la planta, gracias a la cohesión del agua en el interior de las células xilemáticas en respuesta a la fuerza generada por la evaporación de dicho líquido en las hojas (y en parte gracias al empuje debido a la presión osmótica procedente de la absorción de nutrientes en la raíz).
- El **floema** conduce azúcares (**savia elaborada**) desde las áreas de alta concentración hasta las de baja concentración mediante un flujo dinámico dependiente de los gradientes osmóticos. Los azúcares son sintetizados en las hojas y se almacenan en otras regiones de la planta bajo forma osmóticamente inactiva. El flujo de la savia elaborada suele ser descendente.

ANIMALES

En los animales, los alimentos incorporados tienen que sufrir una **digestión** para que puedan atravesar las membranas celulares. Este proceso de desintegración lo llevan a cabo las enzimas digestivas (**hidrolasas**), que desdoblan los materiales orgánicos en moléculas sencillas de monosacáridos, glicerina, ácidos grasos y aminoácidos en un proceso bioquímico (**hidrólisis**) durante el cual prácticamente no se libera energía.

Por otro lado, la única sustancia gaseosa que incorporan los animales es el **oxígeno**,

Escaneado con CamScanner

con el cual llevan a cabo el proceso fisiológico de la **respiración**.

Digestión

Se distinguen dos tipos de digestión:

• La **digestión intracelular** es propia de los **protozoarios** y de determinadas células libres (como los *fagocitos*) de los seres pluricelulares. Se presentan dos modalidades de este tipo de digestión.

La **fagocitosis** consiste en rodear mediante dos pseudópodos, o bien hacer entrar en una cavidad vacuolar, el alimento capturado. En ambos casos éste es digerido en una **vacuola digestiva** que contiene las enzimas, y luego pasa al citoplasma a través de la membrana de la vacuola.

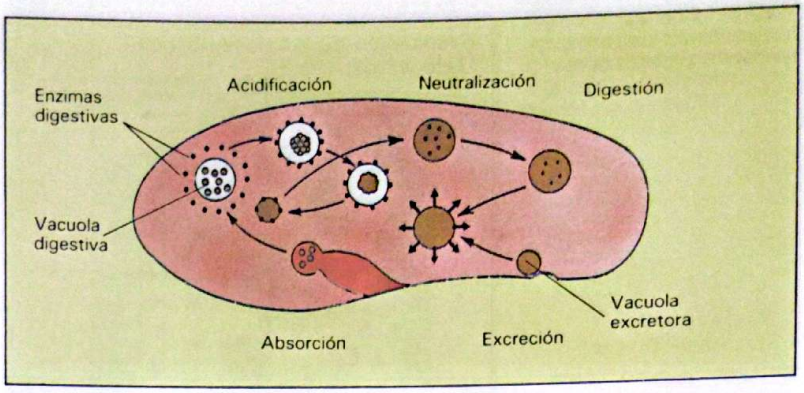
La **pinocitosis** consiste en la ingestión de líquidos por invaginaciones de la membrana celular que luego forman vacuolas digestivas por estrangulamiento.

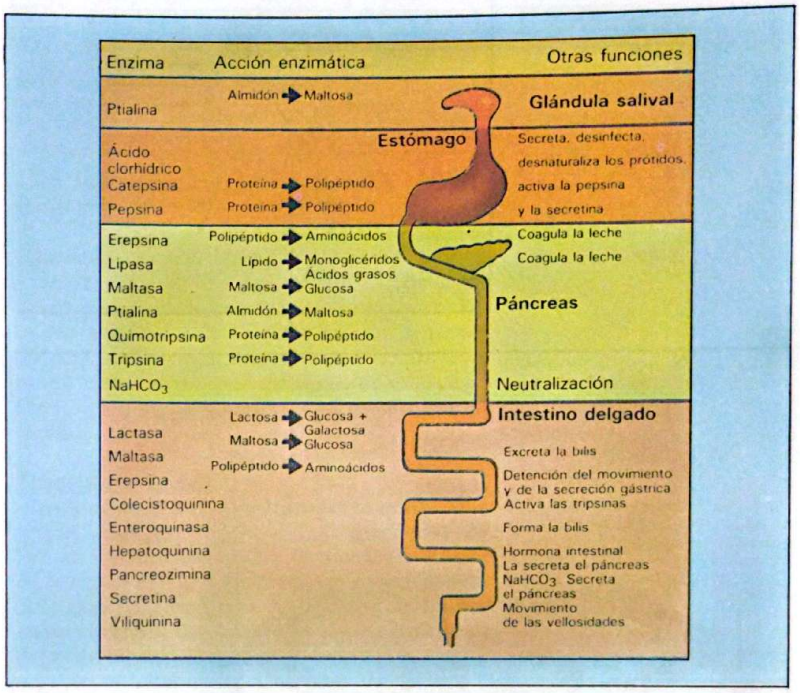
• La **digestión extracelular** se desarrolla en un **aparato digestivo** con dos aberturas independientes (bucal y anal) donde los alimentos son hidrolizados por enzimas vertidas por glándulas que desembocan en él. Las sustancias resultantes de la digestión son absorbidas por las células de las paredes del tubo digestivo y transportadas a todas las células del organismo por un **sistema circulatorio**.

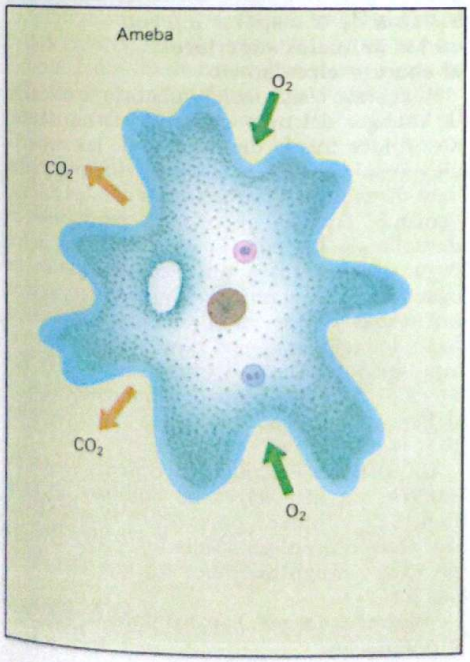
Respiración fisiológica

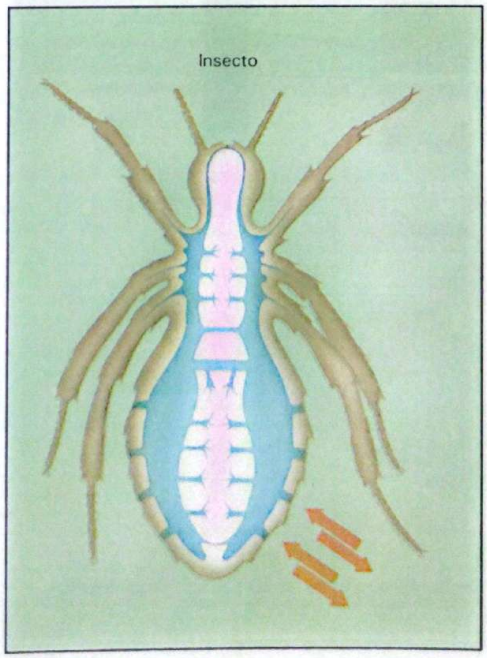
La verdadera respiración, la respiración celular o catabolismo, precisa de un continuo aporte de oxígeno y la eliminación del anhídrido carbónico producido. La incorporación de oxígeno puede presentarse en los animales de cinco maneras distintas:

• **Difusión directa**. Es la absorción del oxígeno a través de la superficie celular, que se da sólo en organismos de organización sencilla (protozoarios, celentéreos, esponjas). El oxígeno puede incorporarse desde el aire o desde el agua.





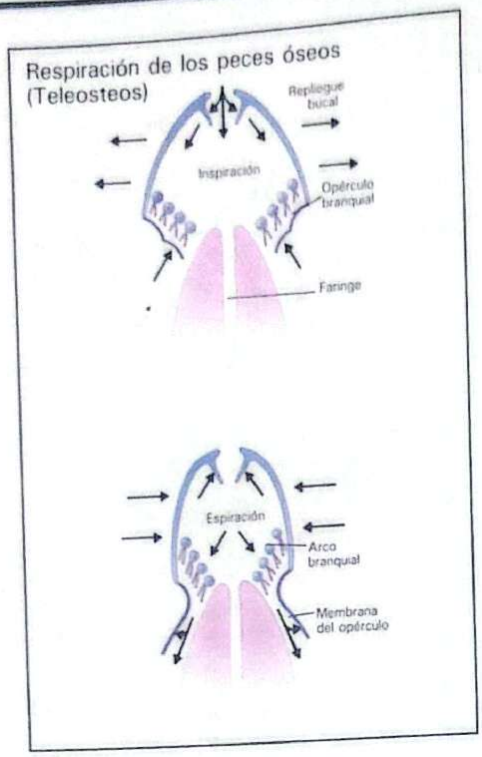


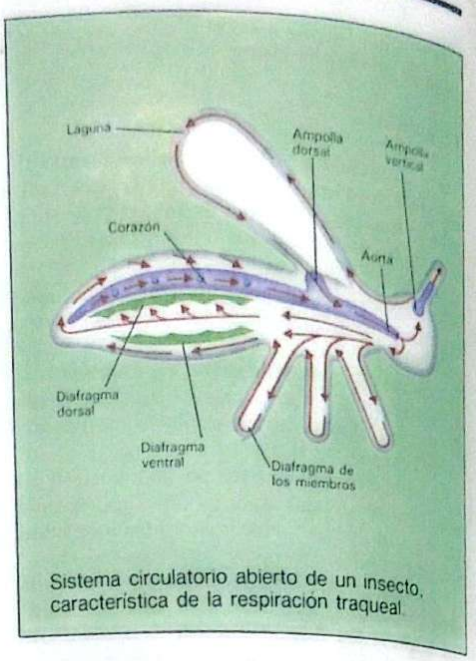


Sobre estas líneas, representación esquemática de la transformación mecánica y química de los alimentos mediante enzimas en el aparato digestivo de un mamífero. Izquierda, dos tipos de transporte de los gases respiratorios: en una ameba (protozoario) y en un insecto.

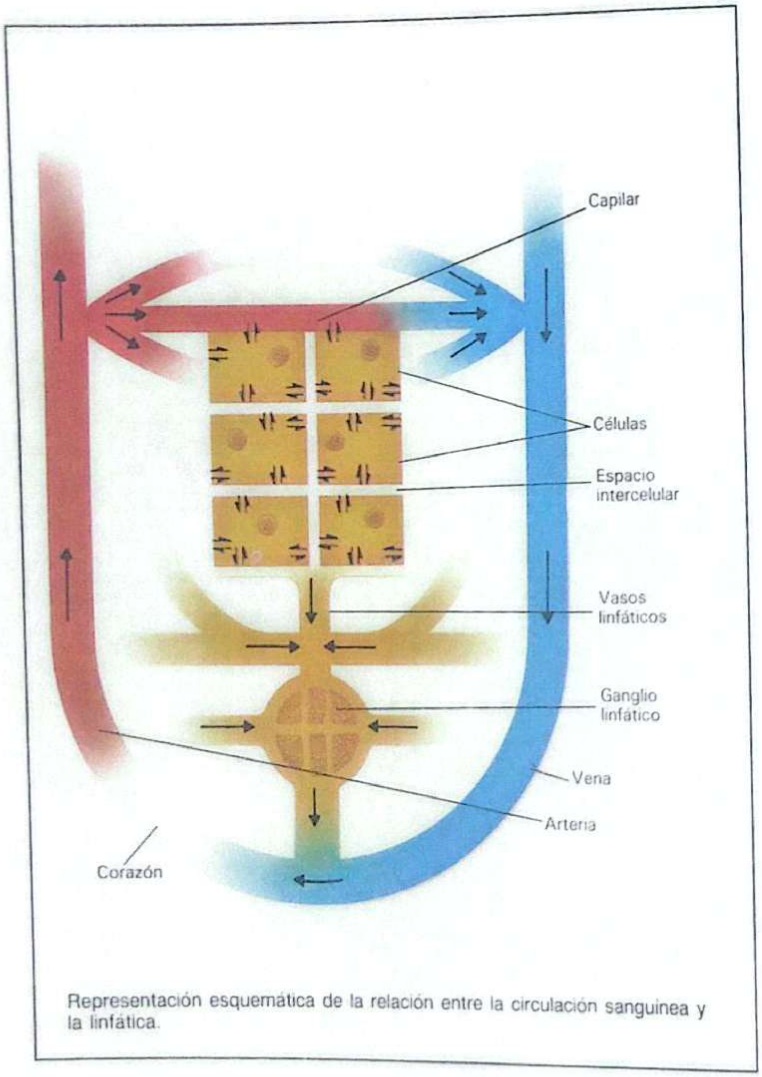
Escaneado con CamScanner

Mecanismo de la respiración en los peces teleósteos o peces óseos.





Sistema circulatorio abierto de un insecto, característica de la respiración traqueal.



Representación esquemática de la relación entre la circulación sanguínea y la linfática.

- **Respiración traqueal**. El oxígeno es conducido por tubos quitinosos (**tráqueas**) que se abren en la superficie del cuerpo y se ramifican llegando a todas las células del animal. Es la respiración típica de los insectos.
- **Respiración cutánea**. El oxígeno es incorporado a través de la piel, tanto desde el aire como desde el agua, como en la rana.
- **Respiración branquial**. Es propia de los animales acuáticos, poseedores de **branquias**. Éstas son láminas de epitelio fino que por un extremo toman el oxígeno del agua y por el otro este gas es recogido por los capilares sanguíneos del sistema circulatorio.
- **Respiración pulmonar**. Es propia de animales superiores, poseedores de **pulmones** o sacos huecos rodeados de una red de capilares que recogen el oxígeno incorporado desde el aire.

Sistema de transporte interno en los animales superiores: el aparato circulatorio

El aparato o sistema circulatorio se encarga de recoger del tubo digestivo los nutrientes absorbidos tras la digestión y, de las superficies respiratorias, el oxígeno incorporado, para distribuirlos por todas las células del organismo; además, recoge los productos de desecho de las células para llevarlos a los órganos excretores que se encargarán de evacuarlos al exterior. También transporta hormonas desde las glándulas endocrinas hasta los tejidos blanco, ayuda a mantener el equilibrio hídrico del organismo y a la homeostasis en los animales homeotermos, y defiende el cuerpo contra los microorganismos invasores.

Un sistema circulatorio típico consta de **sangre**, un dispositivo de bombeo normalmente denominado **corazón** (o simplemente un vaso musculoso dilatado) y un sistema de **vasos sanguíneos** por los que circula la sangre.

A grandes rasgos, hay dos tipos de sistemas circulatorios:

Escaneado con CamScanner

• En el **sistema circulatorio abierto** los vasos sanguíneos no forman un circuito cerrado, sino que desembocan en grandes espacios llamados *senos*, que en conjunto forman el **hemoceloma**. Las células del cuerpo quedan de este modo bañadas en sangre, sangre que luego retorna al corazón. Es el sistema propio de los **moluscos** y de la mayoría de los **artrópodos**.

• En el **sistema circulatorio cerrado**, la sangre pasa a través de una red continua de vasos, formando un circuito cerrado. En los invertebrados que lo presentan, este sistema es muy rudimentario; pero en los vertebrados alcanza una notable perfección y es impulsado por un órgano especializado de potentes paredes musculares: el corazón.

Sistema linfático

Además del sistema circulatorio sanguíneo, los vertebrados poseen un subsistema del sistema circulatorio denominado sistema linfático, que consta de una extensa red de **vasos linfáticos** que conducen **linfa** (procedente del líquido intersticial) y **tejido linfático** (rico en linfocitos). Tiene tres funciones principales:

• Colectar y devolver el líquido intersticial a la sangre.

• Defender el cuerpo contra los organismos patógenos a través de mecanismos inmunitarios.

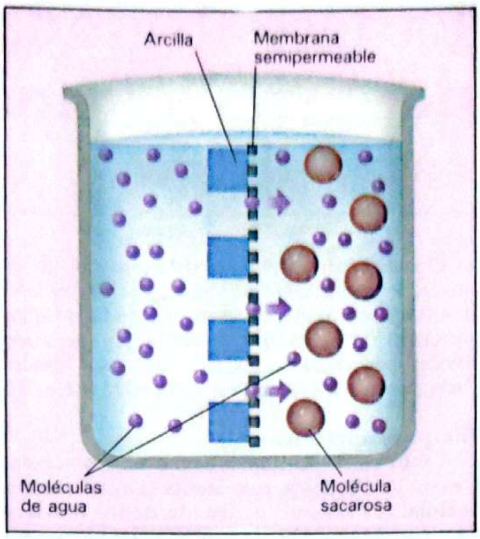
• Absorber lípidos del aparato digestivo.

TRANSPORTE A TRAVÉS DE LA MEMBRANA CELULAR

Los principales mecanismos que permiten el paso de sustancias a través de las membranas celulares son los siguientes:

Difusión

La difusión consiste en el paso de iones o moléculas desde una región de alta concentración a otra de baja concentración, debido a las diferencias de tensión que existen a ambos lados de una membrana semipermeable. Por este mecanismo atraviesan la membrana celular el oxígeno (y gases en general) y los iones difusibles, como el cloro (Cl^-) y el sodio (Na^+).



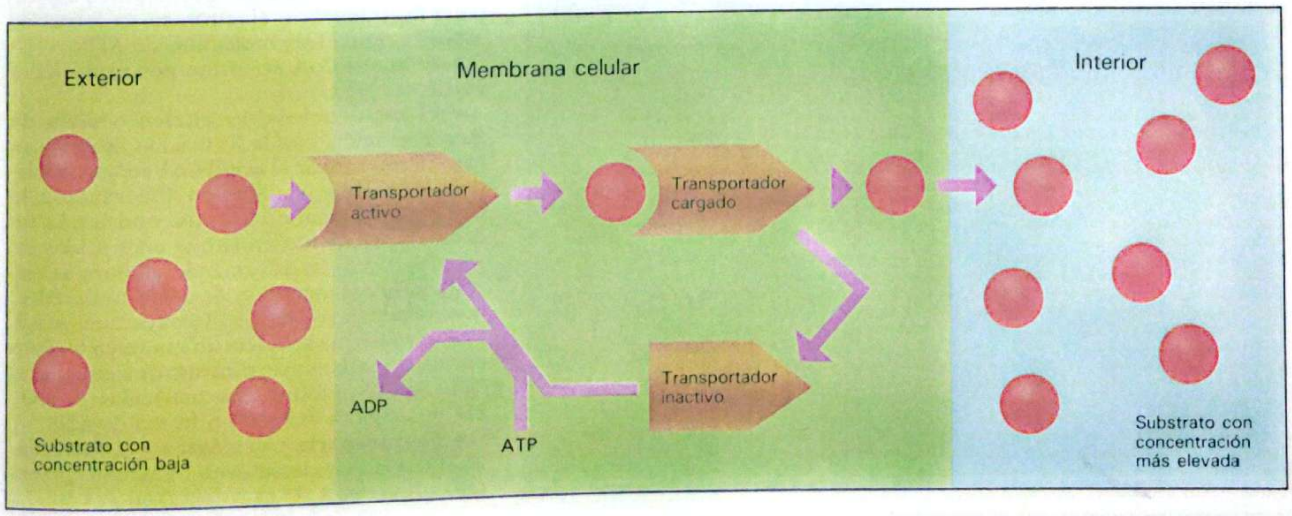
Ósmosis: las moléculas de agua pasan a través de la membrana semipermeable a la región donde están menos concentradas.

Ósmosis

Es la difusión de las moléculas de agua desde una región donde están muy concentradas a otra donde lo están menos, a través de una membrana semipermeable. De este modo tiene lugar, por ejemplo, el intercambio hídrico entre la célula y el medio que la rodea.

Transporte activo

La membrana celular transporta materiales activamente en contra de un gradiente de concentración (en contra de las leyes físicas de la difusión), gracias a pequeños grupos de proteínas de membrana (**proteínas de transporte**) organizadas alrededor de un conducto lleno de líquido que se extiende de un lado a otro de la membrana. La molécula que va a ser transportada se une a una determinada proteína del grupo, es forzada a pasar a través del poro y luego es expulsada al otro lado de la membrana. Así se explica, por ejemplo, el paso de la glucosa y los aminoácidos a través de la bicapa lipídica hidrófoba de la membrana celular.



Transporte activo de moléculas a través de la bicapa lipídica de la membrana celular mediante enzimas de transporte.

Escaneado con CamScanner

La fase degradativa del metabolismo: catabolismo

22

El catabolismo consiste en degradar los nutrientes, una vez digeridos y transportados hasta las células, hasta convertirlos en los compuestos finales más sencillos.

El catabolismo es la fase del metabolismo en la que las moléculas nutrientes, procedentes del medio externo, de la digestión o de las propias reservas de la célula, se degradan mediante reacciones escalonadas a compuestos finales más pequeños y sencillos (CO_2, NH_3, etc.).

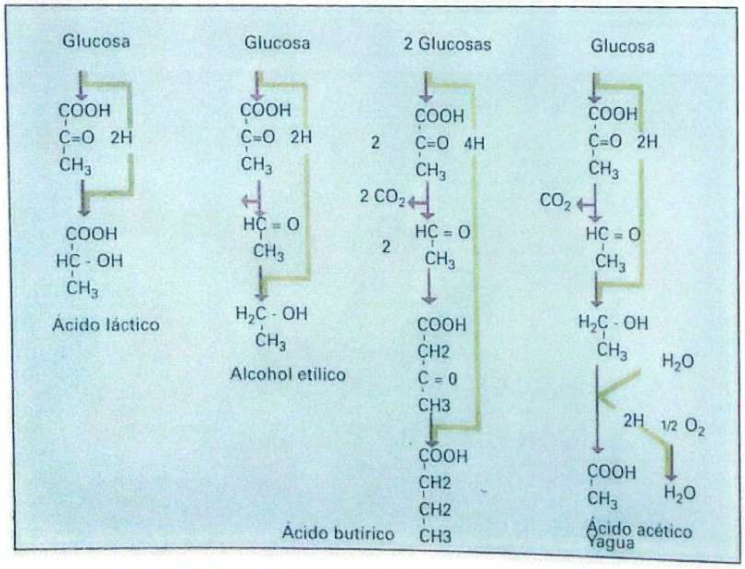
Respiración celular

Tanto en los animales como en los vegetales, el catabolismo representa la **respiración celular**, es decir la oxidación de los nutrientes con liberación de energía, dando como productos finales anhídrido carbónico y agua. Parte de la energía se conserva en forma de **ATP** (trifosfato de adenosina) y parte en forma de átomos de hidrógeno ricos en energía, transportados por el **NADPH**, forma reducida del coenzima fosfato del dinucleótido de adenina y de nicotinamida. La energía almacenada en forma de ATP es utilizada por los organismos para desarrollar sus funciones vitales y para la producción de calor.

Según la naturaleza del agente oxidante (aceptor de electrones), se distinguen tres tipos de respiración:

- **Respiración aerobia**. El aceptor de electrones es el oxígeno; por tanto, es necesaria la presencia de este elemento para esta modalidad de respiración, la más frecuente en la naturaleza y la que libera mayor cantidad de energía, dando como productos finales CO_2 y H_2O.
- **Respiración anaerobia**. El aceptor de electrones es un compuesto inorgánico distinto del oxígeno, como ocurre en ciertas bacterias que pueden respirar en ausencia de aire.
- **Fermentación**. El aceptor de electrones es un compuesto orgánico; por tanto, tampoco es necesario la presencia del aire.

Distintos tipos de fermentación de la glucosa, que dan lugar a productos finales de diferente naturaleza.



Rutas catabólicas

El catabolismo se produce en tres fases principales:

- En la **primera fase**, los polisacáridos, los lípidos y las proteínas se degradan enzimáticamente hasta sus sillares básicos (hexosas, pentosas, glicerina, ácidos grasos, aminoácidos).
- En la **segunda fase**, estos sillares se oxidan a **acetil-CoA** como producto final común de todos ellos.
- En la tercera fase, el grupo acetilo del acetil-CoA se oxida hasta CO_2.

GLUCÓLISIS

La glucólisis es una ruta central del catabolismo de la glucosa en la mayor parte de los organismos y consiste en la degradación de la molécula de **glucosa** para dar dos moléculas de **piruvato** (de tres átomos de carbono) y energía libre que se conserva en forma de **ATP**. Las diez reacciones enzimáticas escalonadas que ocurren se producen sin oxígeno.

En condiciones anaerobias, el piruvato se reduce a lactato o, en la fermentación alcohólica, en etanol y CO_2. En condiciones aerobias (respiración), el piruvato se oxida a acetil-CoA y CO_2.

FASE AEROBIA DEL CATABOLISMO: EL CICLO DE KREBS

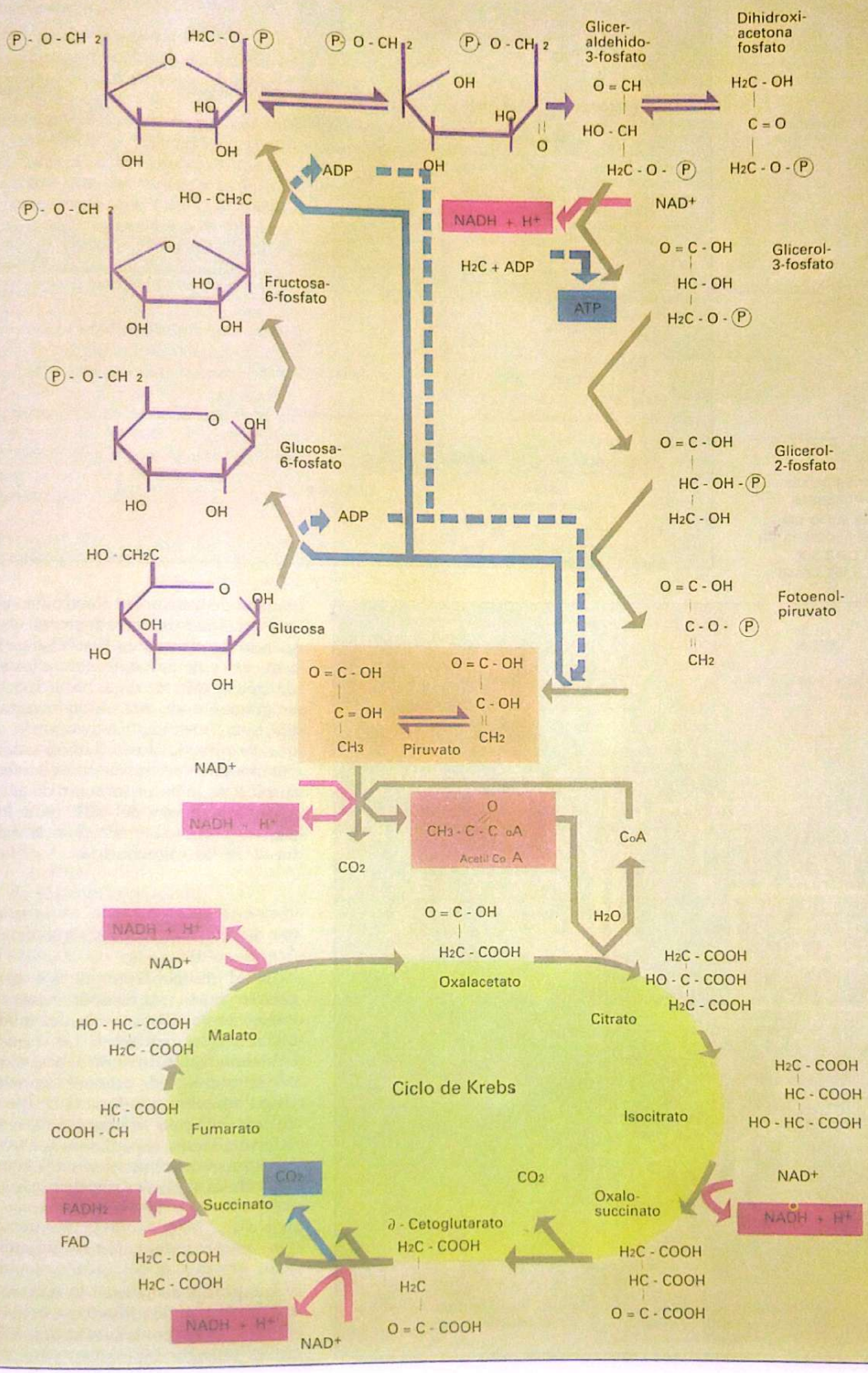
La auténtica respiración celular tiene lugar en tres fases: movilización del acetil-coenzima A procedente de la glucosa, de los ácidos grasos y de algunos aminoácidos; ciclo del ácido cítrico o ciclo de Krebs; transporte electrónico y fosforilación oxidativa. Cada par de átomos de H que se incorporan a la cadena de transporte electrónico en forma de NADH origina tres moléculas de ATP.

- El **acetil-CoA** se forma por oxidación a partir del piruvato.
- El **ciclo del ácido cítrico** o **ciclo de Krebs** se inicia con la formación de ácido cítrico al reaccionar el acetil-CoA con una molécula de ácido oxalacético (liberándose la CoA), y tiene lugar en las **mitocondrias**. La cadena de reacciones en la que unos ácidos orgánicos se van transformando en otros se cierra con la regeneración de ácido oxalacético, que puede combinarse después con acetil-CoA, con lo que se inicia un nuevo ciclo. Pero por cada molécula de piruvato que entra en el ciclo se desprenden dos moléculas de CO_2, $8H^+$ y se libera energía en forma de ATP.
- El **transporte electrónico** y la **fosforilación oxidativa** constituyen los acontecimientos culminantes de la respiración celular. La

Escaneado con CamScanner

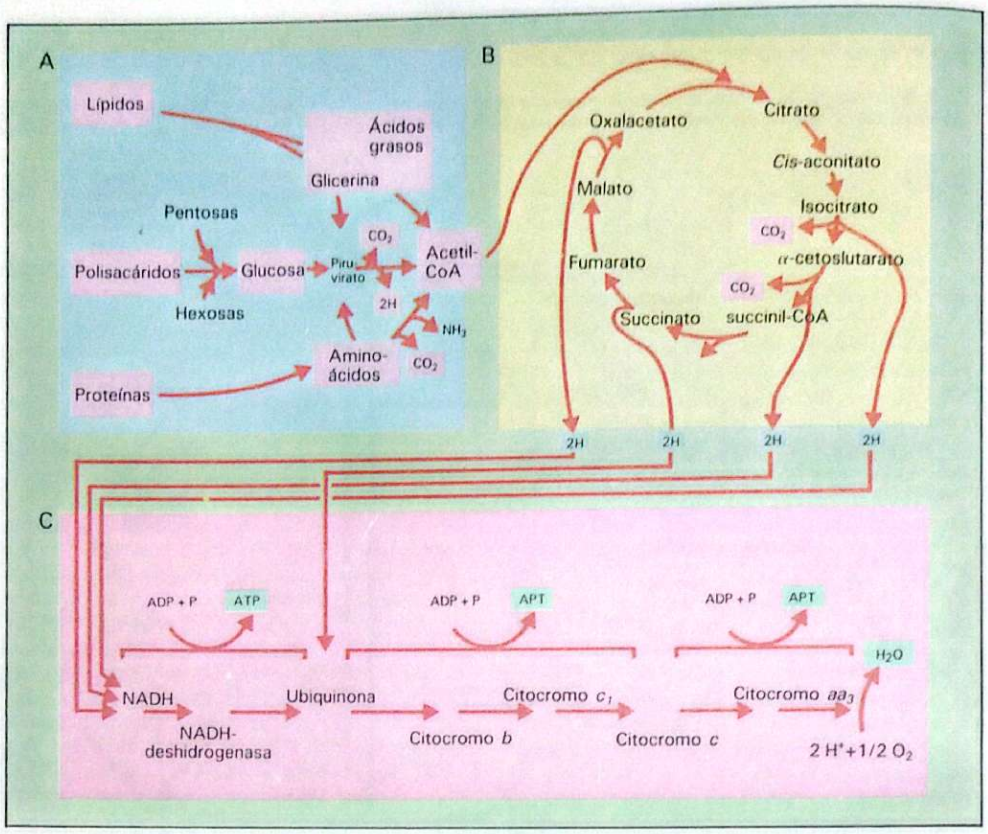
Esquema de la glucólisis y del ciclo del ácido cítrico.

En la glucólisis, el desdoblamiento de la molécula de glucosa en unidades menores termina con la formación del piruvato. El ciclo del ácido cítrico o ciclo de Krebs es el tramo final común del metabolismo de todas las sustancias nutritivas.

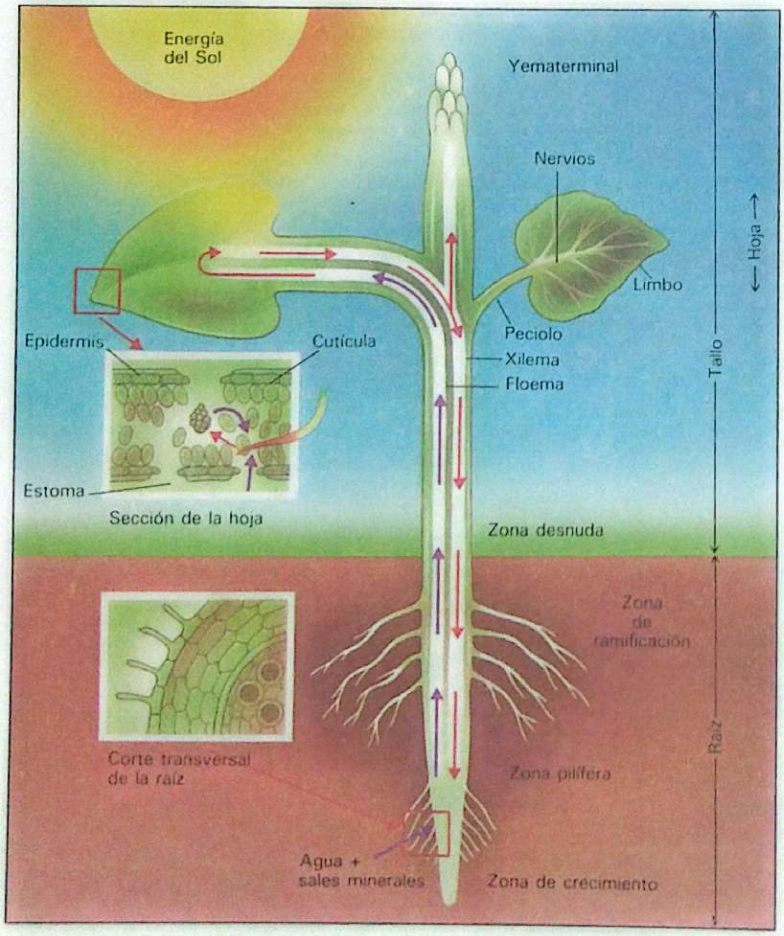


Escaneado con CamScanner

Las tres fases de la respiración celular: A, glucólisis; B, ciclo de Krebs; C, fosforilación oxidativa.



Al tratarse de sustancias sencillas, los nutrientes absorbidos del suelo por las plantas no necesitan de una digestión para ser incorporados a las células.



cadena de transporte electrónico está formada por enzimas oxidorreductoras que van recogiendo los electrones liberados en las dos fases anteriores de la respiración y los van pasando de una a otra enzima hasta incorporarlos al oxígeno, que de este modo forma agua con los hidrogeniones expulsados por la mitocondria que respira. La fosforilación oxidativa, estrechamente relacionada con el transporte electrónico, es la incorporación de ácido fosfórico a una molécula de ADP para formar ATP. Ambos procesos ocurren en la membrana interna de las mitocondrias.

CATABOLISMO DE LOS CARBOHIDRATOS

En el metabolismo de los carbohidratos existen, pues, tres fases en las que se produce energía: glucólisis, ciclo del ácido cítrico y fosforilación oxidativa. Las tres fases están coordinadas entre sí de modo que funcionan conjuntamente de manera económica y autorregulada para producir ATP (producto final del catabolismo productor de energía) y los intermediarios específicos (piruvato, citrato, etc.) que se necesitan como precursores en la biosíntesis de otros componentes celulares.

CATABOLISMO DE LOS LÍPIDOS

Las grasas atraviesan la membrana celular bajo la forma de glicerina y ácidos grasos. La glicerina sólo contribuye con un 5% del total de la energía biológicamente disponible a

Escaneado con CamScanner

partir de las grasas, transformándose fácilmente en 3-fosfogliceraldehído, que se incorpora a la ruta metabólica de los glúcidos. Los ácidos grasos representan el 95% de dicha energía, sufriendo una *oxidación* junto con la de los carbohidratos: el ciclo de Krebs.

Oxidación de los ácidos grasos

Los ácidos grasos se activan y se oxidan en las **mitocondrias**, donde penetran mediante un proceso de transporte.

La **activación** corre a cargo de la CoA, que se une al grupo carboxilo del ácido graso. A continuación se producen dos reacciones de deshidrogenación que dan lugar a la formación de un compuesto cetónico. La fijación de una nueva molécula de CoA a dicho compuesto provoca la escisión en acetil-CoA y un ácido graso activado con dos carbonos menos que el inicial, el cual repite el mismo proceso sucesivas veces liberando en cada una de ellas una molécula de acetil-CoA que se incorpora al ciclo del ácido cítrico. Los hidrogeniones desprendidos son recogidos por la cadena de transporte electrónico para activar el oxígeno y formar agua. Acoplada al flujo de electrones se halla la fosforilación oxidativa del ADP a ATP, de modo que la energía liberada en ambas fases de la oxidación del ácido graso se conserva en forma de ATP.

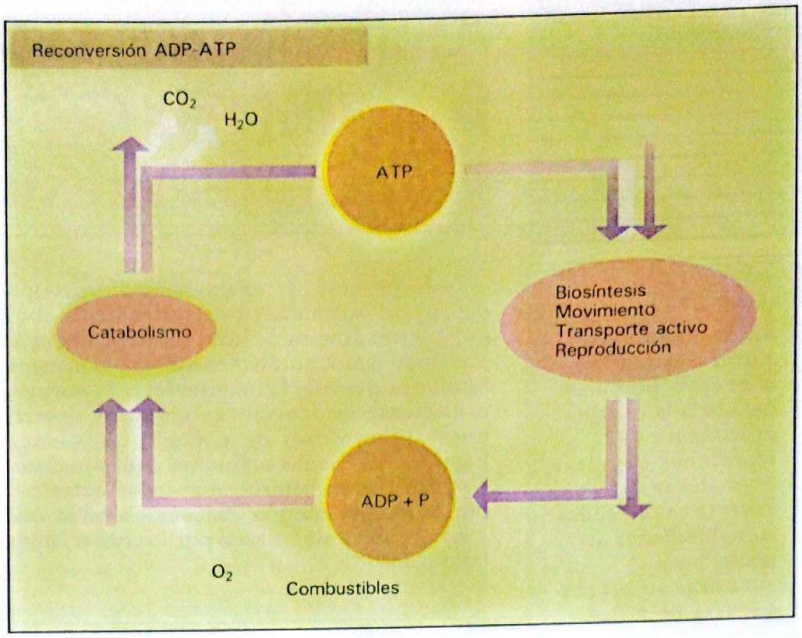
CATABOLISMO DE LOS PRÓTIDOS

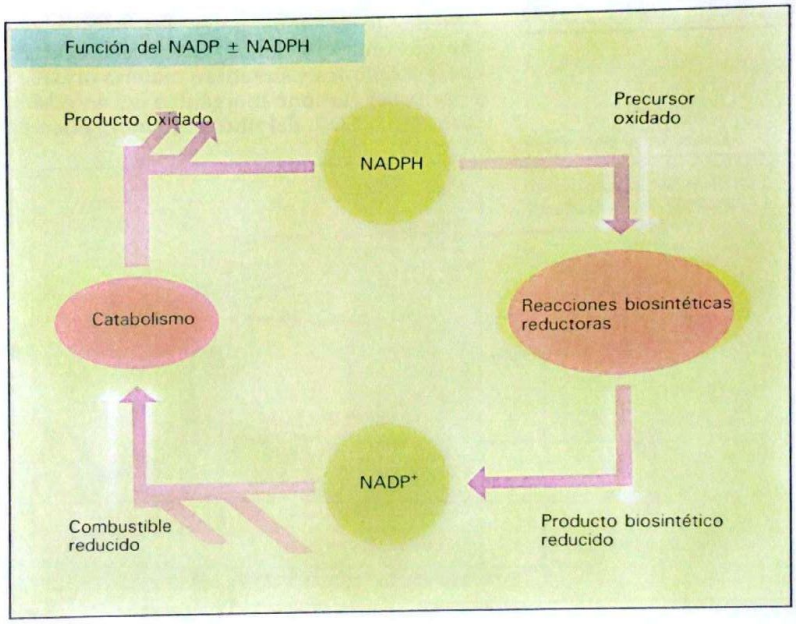
Los prótidos llegan a la célula al estado de aminoácidos, cuyo papel primordial consiste en actuar como sillares para la biosíntesis de las proteínas; pero, en determinadas circunstancias (ingestión de un exceso de proteínas, ayuno prolongado, diabetes, etc.), pueden experimentar degradación oxidativa para producir energía metabólica. En este proceso, los aminoácidos pierden su grupo amino y los cetoácidos que se forman experimentan la oxidación a CO_2 y H_2O (con liberación de ATP), parcialmente por la ruta metabólica del ciclo de Krebs.

Oxidación de los aminoácidos: ciclo de la urea

La desaminación consiste en la liberación del radical $-NH_2$ de los aminoácidos, que de este modo quedan transformados en cetoácidos. El proceso tiene lugar en el hígado, dando como producto de desecho amoníaco que, al igual que el dióxido de carbono, es tóxico para el organismo y, por tanto, tiene que ser eliminado. Así como en los animales acuáticos esta eliminación es directa, en otros animales tiene que pasar por la formación de **urea** (mamíferos y anfibios) o de **ácido úrico** (reptiles, aves, insectos, etc.).

De forma esquemática, el **ciclo de la urea** consiste en que el CO_2 y el NH_3 que van a parar a la sangre forman, con el agua, carbonato amónico, el cual en el hígado es descompuesto en urea (que se elimina por la orina) y agua. Éste es el sistema de excreción del nitrógeno amínico de los animales llamados **ureotélicos**. Los **uricotélicos** excretan el nitrógeno amínico en forma semisólida como ácido úrico, que es un derivado de la purina. La formación de la urea, producto no tóxico, y del ácido úrico tienen un coste elevado en ATP.





Papel de la reconversión ADP-ATP (diagrama de arriba) y función del NADP+ - NADPH (diagrama inferior) en el metabolismo celular.

Catabolismo de los ácidos nucleicos

La digestión de los ácidos nucleicos origina nucleótidos y después pentosas, grupos fosfato y bases nitrogenadas.

- Las **pentosas** siguen las rutas catabólicas de los carbohidratos o bien intervienen en la biosíntesis de nuevos nucleótidos.
- Los **grupos fosfato** no experimentan transformación alguna; pueden ser excretados en la orina, o bien pueden ser utilizados en procesos de fosforilación (síntesis de ATP) y en la síntesis de mononucleótidos.
- Las **bases nitrogenadas** son catabolizadas a ácido úrico (bases púricas) o a amoníaco y urea (bases pirimídicas).

Escaneado con CamScanner

Anabolismo autótrofo: fotosíntesis y quimiosíntesis

23

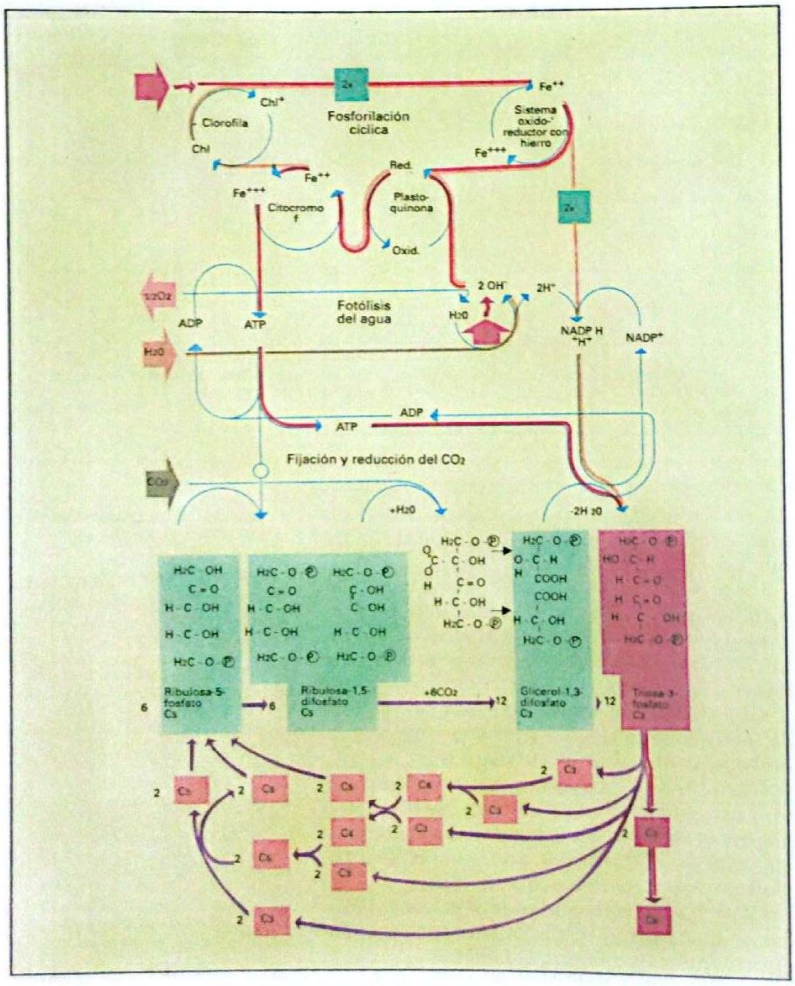
Los organismos autótrofos utilizan la energía luminosa del sol o la energía procedente de reacciones químicas liberadoras de energía para realizar su anabolismo, es decir, para sintetizar su propia materia orgánica.

Todo proceso de anabolismo (formación de nuevas sustancias progresivamente más complejas) precisa de una fuente de energía. Los organismos autótrofos utilizan la energía luminosa del sol (**fotosíntesis**) o la energía procedente de reacciones químicas exotérmicas (liberadoras de energía) que tienen lugar en el medio ambiente (**quimiosíntesis**). Los seres heterótrofos se caracterizan por utilizar la energía almacenada en la materia orgánica sintetizada por los organismos autótrofos.

FOTOSÍNTESIS

Mediante la fotosíntesis, los organismos con clorofila convierten la energía solar en energía química y sintetizan materia orgánica a partir del carbono inorgánico del anhídrido carbónico (CO_2), del nitrógeno inorgánico en forma de nitrato (NO_3^-), y del hidrógeno (H) y el oxígeno (O) del agua.

El anabolismo del H y el O acompaña al del carbono.



Fotosíntesis del carbono

Es un proceso fotoquímico mediante el cual las plantas verdes, a partir del anhídrido carbónico y del agua, con auxilio de la energía luminosa del Sol, obtienen azúcares y otros materiales orgánicos con desprendimiento de oxígeno a la atmósfera. Comprende dos fases.

- **Fase luminosa**. También recibe el nombre de *fotofosforilación* y consiste en la captación, por parte de la clorofila, carotinoides o ficobiliproteínas (pigmentos de ciertas algas), de la energía luminosa para ser transformada en energía química en forma de ATP.

Al término de la fase luminosa, en el organismo se han obtenido dos compuestos químicos: el aceptor de electrones –de gran poder reductor– $NADP^+$ (nicotinamida adenindinucleótido fosfato) y el ATP, rico en energía.

Es imprescindible, para el desarrollo de esta fase, una fuente externa de electrones, que procede de la fotolisis del agua, en las plantas verdes, o de otros compuestos capaces de sufrir la fotolisis, como el ácido sulfhídrico en las bacterias fotosintetizadoras, para reponer a la clorofila los electrones que va perdiendo.

- **Fase oscura**. Así como la fase luminosa va asociada a las membranas tilacoidales de los cloroplastos, la fase oscura ocurre en el estroma y no precisa ni luz ni clorofila, sino que utiliza la energía química del ATP y el poder reductor del $NADP^+$ para fijar el CO_2 atmosférico, que se integra a moléculas orgánicas formando un círculo cerrado denominado **ciclo de Calvin** en honor a su descubridor.

Fotosíntesis del nitrógeno

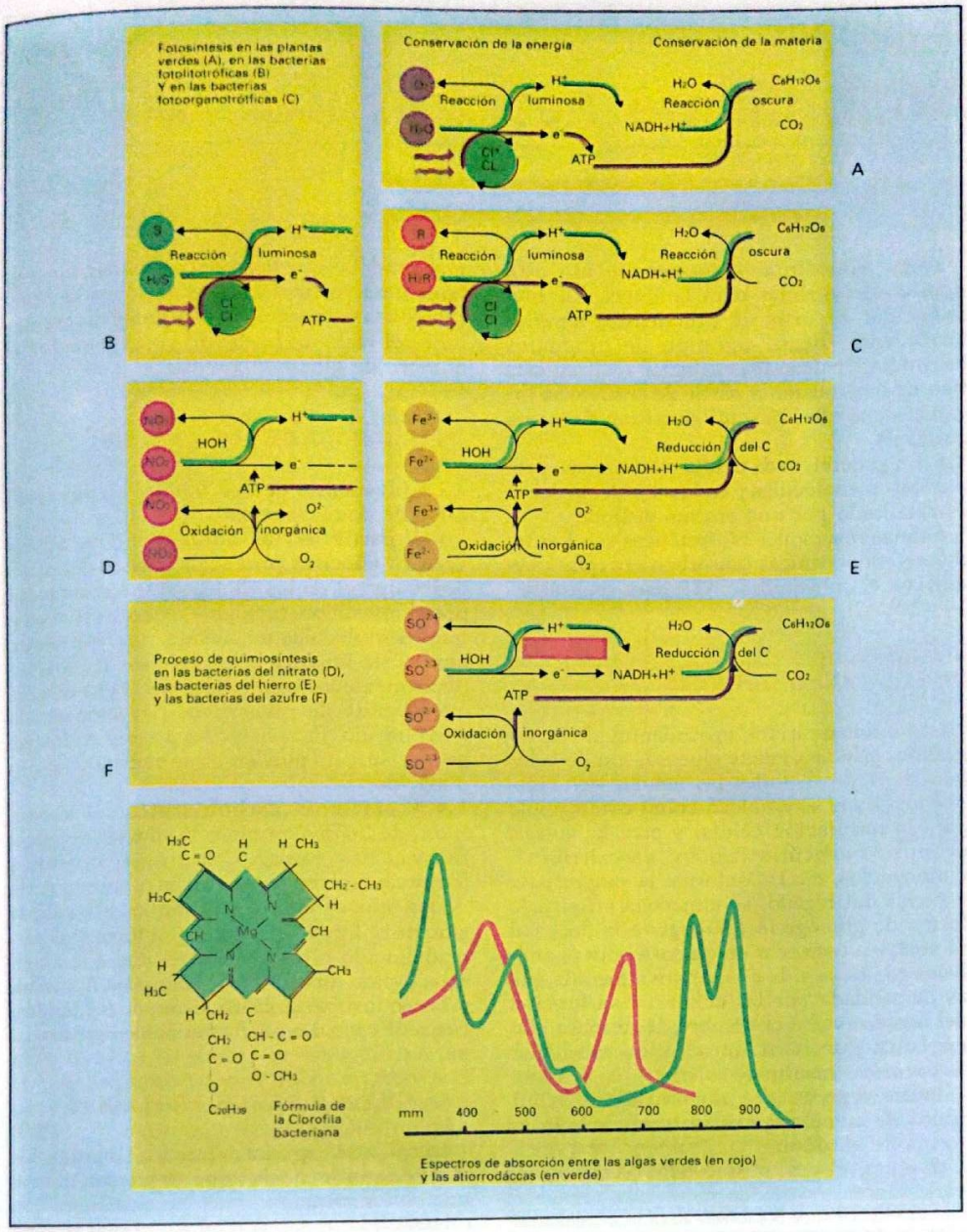
El nitrógeno inorgánico absorbido por las raíces en forma de nitratos sigue un proceso fotoquímico semejante, en la fase luminosa, al seguido por el carbono.

En la fase oscura, los nitratos son reducidos por el $NADP^+$ a nitritos y éstos a amoníaco (NH_3), que se incorpora rápidamente a los aminoácidos.

QUIMIOSÍNTESIS

La síntesis orgánica mediante energía procedente de reacciones químicas exotérmicas del exterior sólo pueden llevarla a término ciertas bacterias.

Escaneado con CamScanner



Izquierda, diferentes modalidades de anabolismo autótrofo (fotosíntesis y quimiosíntesis).

Página de la izquierda, representación esquemática de la fotosíntesis y de la asimilación del carbono.

Quimiosíntesis del carbono

La energía para la fijación del CO_2 se obtiene bien por oxidación del NH_3 en ácido nítrico (nitrobacterias), por oxidación de carbonatos y sulfatos de hierro en hidróxidos (ferrobacterias), o bien por oxidación del ácido sulfídrico (H_2S) en ácido sulfúrico (sulfobacterias incoloras).

Quimiosíntesis del nitrógeno

El nitrógeno del aire sólo puede ser captado y transformado en materia orgánica por algunos tipos de bacterias (las plantas sólo pueden absorberlo bajo forma de nitratos del suelo), en particular de los géneros *Clostridium*, *Azotobacter* y *Rhizobium*, que viven en el suelo, y estas últimas en simbiosis con las raíces de las plantas leguminosas. Para obtener energía, todas estas bacterias metabolizan los glúcidos que existen en la materia orgánica del suelo, o en las células de las raíces de las leguminosas.

FOTORRESPIRACIÓN

Las células vegetales, al igual que las animales, efectúan las reacciones de *respiración celular*, principalmente en las mitocondrias, utilizando sustratos como la glucosa y produciendo CO_2 y ATP. En presencia de luz intensa, muchas plantas utilizan además O_2 y producen CO_2 a través de un proceso diferente llamado fotorrespiración, cuya función biológica es todavía un misterio ya que es un proceso de degradación inútil en el que los compuestos orgánicos se convierten en CO_2 sin que haya producción de ATP o $NADP^+$. Así, la energía lumínica, en tal caso, no produce una fijación eficiente del CO_2.

Escaneado con CamScanner

Anabolismo heterótrofo 24

Parte de los productos del catabolismo, resultantes de la digestión de los nutrientes, es utilizada por los organismos heterótrofos, y también por los autótrofos, para sintetizar sus propias macromoléculas, en especial las proteínas.

Todas las células disponen de un gran número de enzimas para la síntesis de biomoléculas a partir de precursores simples procedentes de la digestión de productos orgánicos. Incluso los vegetales realizan este tipo de anabolismo a partir de sustancias orgánicas que ellos mismos sintetizan de forma autótrofa.

- En general, cada célula sintetiza sus propias macromoléculas y cada paso del proceso es catalizado por una enzima distinta.
- Estas reacciones biosintéticas son fuertemente endotérmicas (absorben energía) y requieren el consumo de ATP para realizarse.

ANABOLISMO DE LOS CARBOHIDRATOS

Los monosacáridos procedentes de la digestión, principalmente glucosa, son llevados por la sangre a todas las células del organismo, donde se emplean como combustible para la respiración celular y para la síntesis de otras moléculas (ribosa, desoxirribosa, aminoácidos, etc.). Conforme la sangre pasa a través del hígado, se almacena en él bajo forma de **glucógeno** (**glucogénesis**), el cual se vuelve a convertir en glucosa (**glucogenólisis**) que es vertida a la sangre a medida que es demandada por las células. Esta función del hígado recibe el nombre de **función glucogénica-glucémica**, que está controlada por la hormona **insulina**.

En los vegetales, los monosacáridos sintetizados de manera autótrofa se almacenan en forma de **almidón**.

A veces, el anabolismo heterótrofo de los carbohidratos parte de moléculas orgánicas más sencillas que los monosacáridos, concretamente a partir del ácido pirúvico, la glicerina, diversos aminoácidos y todos los catabolitos del ciclo de Krebs. El proceso recibe el nombre de **gluconeogénesis**.

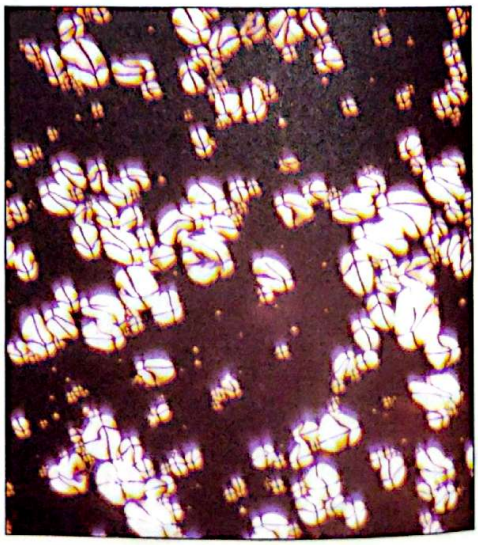
ANABOLISMO DE LOS LÍPIDOS

La biosíntesis de los lípidos puede realizarse de dos maneras:

- **A partir de los alimentos**. Los ácidos grasos y glicerina procedentes de la digestión de los lípidos de los alimentos son absorbidos por el intestino y rápidamente convertidos en nuevas moléculas de lípidos, que son distribuidos vía linfática a los diversos tejidos, especialmente los tejidos adiposos. Pero una pequeña parte de estos lípidos es almacenada en el hígado. Esta vía no es posible en los vegetales, que no pueden absorber grasas en su nutrición.
- **A partir de carbohidratos**. El anabolismo de lípidos requiere la síntesis de glicerina y ácidos grasos. La glicerina se sintetiza a partir de moléculas de glucosa, en una serie de reacciones en parte comunes a las de la glucólisis. Los ácidos grasos se forman a partir del ácido pirúvico, que se une a la coenzima A para formar acetil coenzima A; por un proceso inverso al catabolismo de los lípidos, el acetil coenzima A forma ácidos grasos.

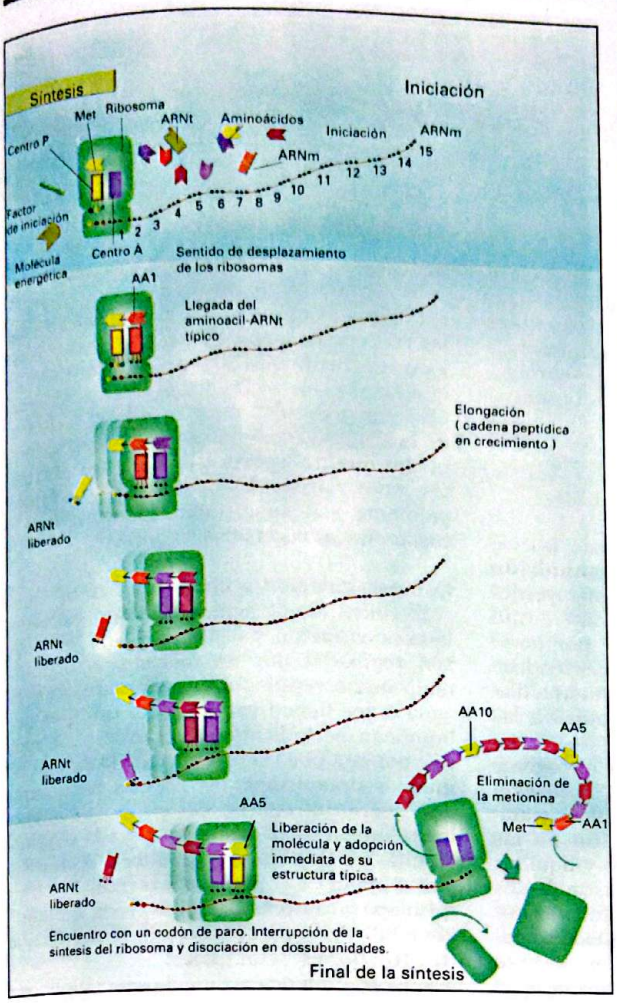
ANABOLISMO DE LAS PROTEÍNAS

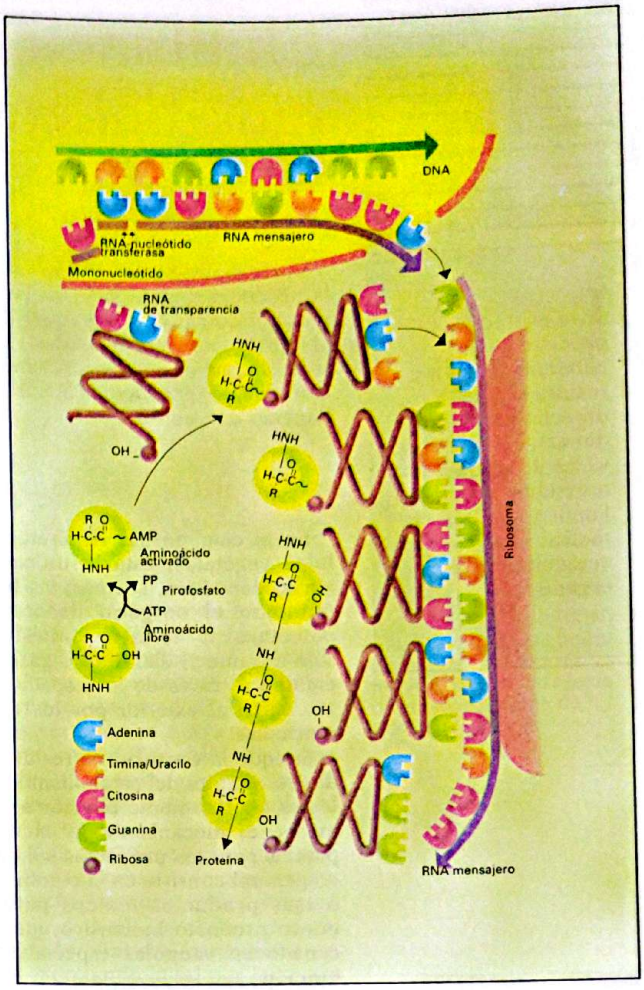
Las plantas superiores pueden sintetizar los veintidós aminoácidos que se pueden encontrar en las proteínas, pero no ocurre así con



Izquierda, la insulina es la hormona que controla el abastecimiento de glucosa a las células desde el hígado y a través de la sangre. Derecha, en los vegetales, los monosacáridos se almacenan en forma de almidón. En la foto: cristales de almidón.

Escaneado con CamScanner





Arriba, izquierda: las distintas etapas del complejo proceso de la síntesis de proteínas. Arriba, derecha: biosíntesis de las proteínas, que tiene lugar en el citoplasma, dirigida por el ARN mensajero de estructura complementaria a la del ADN presente en el núcleo.

los animales y los humanos; por ejemplo, ocho de ellos no pueden ser sintetizados por el cuerpo humano, por lo que reciben el nombre de *aminoácidos esenciales* (en la dieta).

La síntesis de proteínas a partir de los aminoácidos pasa por la formación de cadenas de péptidos y constituye un proceso metabólico de vital importancia en el que intervienen los ácidos nucleicos. Los **ribosomas** son las máquinas moleculares que fabrican las cadenas polipeptídicas. El eje del proceso es el siguiente: el ADN, mediante el código genético, transmite al ARN el mensaje con el que este último ordenará a los aminoácidos para construir las moléculas proteicas, de tal manera que éstas resultan específicas para cada especie. Las distintas etapas de este complejo proceso se pueden resumir en cinco fases que se explican a continuación.

• **Activación de los aminoácidos**. Esta etapa tiene lugar en el citosol (fase acuosa continua del citoplasma) y en ella cada aminoácido se une covalentemente a un ARNt específico a expensas de la energía del ATP.

• **Iniciación de la cadena polipeptídica**. A continuación, el ARNm portador del código que especifica al polipéptido que se va a sintetizar se enlaza a la subunidad menor del ribosoma, y seguidamente lo hace el aminoácido iniciador unido a su ARNt, para formar el llamado **complejo de iniciación**. El ARNt del aminoácido iniciador se aparea con un codón (triplete nucleotídico) específico presente en el ARNm, que señala el comienzo de la cadena polipeptídica.

• **Prolongación**. Seguidamente se prolonga la cadena polipeptídica por unión covalente de sucesivos restos de aminoácido, cada uno de los cuales es transportado al ribosoma y colocado en posición adecuada por su correspondiente ARNt, el cual aparea sus bases respondiendo a un codón específico del ARNm.

• **Terminación y liberación**. Después de la terminación de la cadena polipeptídica, señalizada por un **codón de terminación** en el ARNm, se produce su liberación del ribosoma.

• **Plegamiento y transformación**. La forma biológicamente activa del polipéptido se consigue tras un plegamiento que le permite adoptar la conformación tridimensional adecuada. Antes o después del plegamiento, el polipéptido sintetizado puede sufrir una transformación con el fin de eliminar el aminoácido iniciador, introducir grupos fosfato, carboxilo u otros en determinados restos aminoácidos, o bien para unir oligosacáridos o grupos prostéticos.

Escaneado con CamScanner

Eliminación de desechos metabólicos: excreción

25

La excreción consiste en la eliminación de las sustancias de desecho resultantes del catabolismo que ya no son útiles al individuo e incluso pueden resultar tóxicas si se acumulan en el organismo.

El catabolismo de los nutrientes da lugar a la producción de sustancias de desecho (gaseosas, líquidas y sólidas) que ya no son útiles al individuo e incluso pueden resultar tóxicas si se acumulan en el organismo. La eliminación de tales productos constituye el proceso llamado **excreción**.

EXCRECIÓN EN LOS VEGETALES

En el catabolismo respiratorio de las células vegetales, éstas eliminan **anhídrido carbónico**. Pero, además, las plantas verdes eliminan el **oxígeno** desprendido como consecuencia de la fotosíntesis y por tanto sólo durante el día. Ambos gases, abriéndose camino a través de los espacios intercelulares, salen al exterior por los **estomas** o las **lenticelas**.

Aunque la cantidad de residuos nitrogenados resultantes del catabolismo en los vegetales es enormemente inferior a la de los animales, el mecanismo de excreción de las plantas para los productos sólidos y líquidos en general consiste en la combinación de dos o más productos tóxicos para formar un nuevo producto inofensivo que queda almacenado en **vacuolas** especializadas en esta función.

Por último, el **agua** se elimina en los vegetales a través de los **estomas**, sea mediante **transpiración** (por evaporación) o bien mediante **gutación** (formación de gotas en la superficie a causa de la presión de empuje a que se halla sometida la savia bruta.

EXCRECIÓN EN LOS ANIMALES

El agua es el medio en el cual se verifican las reacciones metabólicas. Los pequeños organismos acuícolas liberan directamente en el agua que los rodea sus productos de desecho. Los animales más complejos disponen de la sangre y los líquidos intersticiales como medio que transporta y disuelve los nutrientes, gases y productos de desecho, que principalmente son agua, anhídrido carbónico y sustancias nitrogenadas.

Osmorregulación y aparato excretor

El contenido de agua del cuerpo, así como la concentración y distribución de los iones son regulados por un mecanismo denominado **osmorregulación**. Los protozoarios de agua dulce tienen **vacuolas contráctiles** que bombean periódicamente el exceso de agua que penetra por vía osmótica en la célula. En muchos organismos, las mismas estructuras que liberan al cuerpo del exceso de agua y iones suelen estar adaptadas para la eliminación de los desechos metabólicos. Dichos órganos integran el **aparato excretor**.

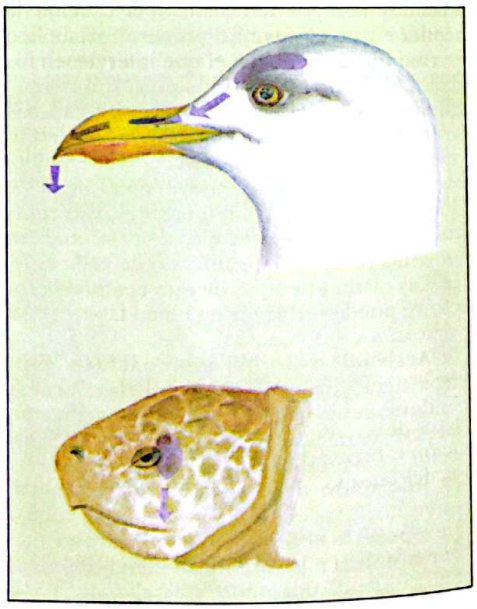
Un **aparato excretor** típico ayuda al mantenimiento de la homeostasia llevando a cabo tres **funciones principales**:

- **Excreción** de los desechos metabólicos.
- **Osmorregulación** (regulación del contenido de líquidos y sales del cuerpo).
- **Regulación de las concentraciones** de casi todos los constituyentes líquidos.

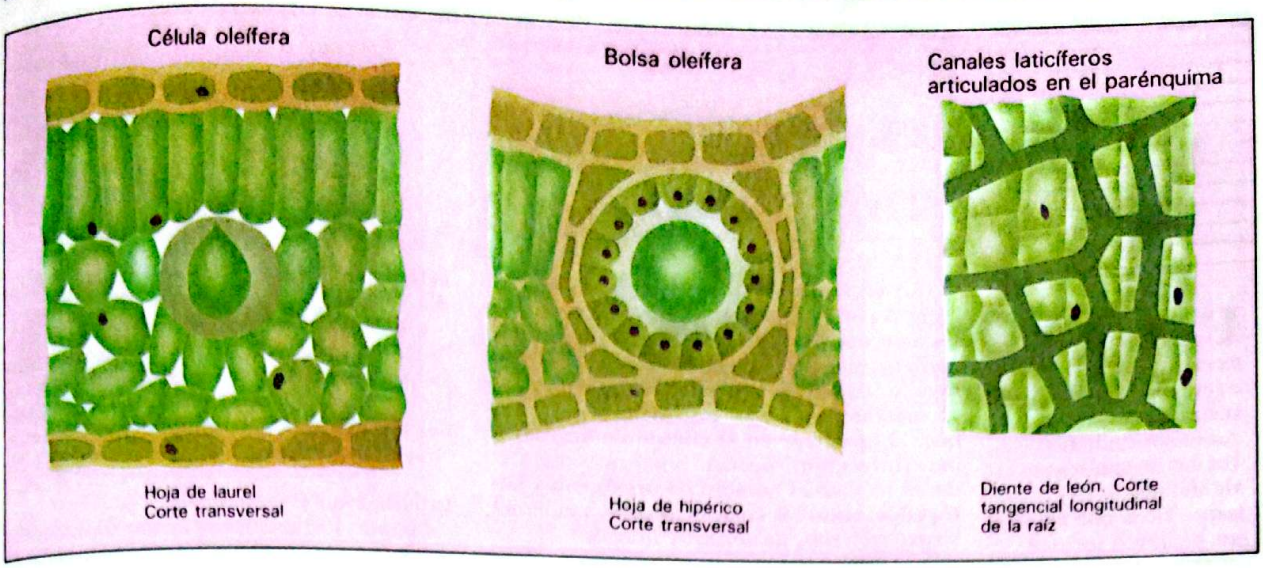
A tales fines, los órganos excretores colectan líquidos (generalmente tomándolos de la

Izquierda, el anhídrido carbónico y el oxígeno, así como el agua, son eliminados en las plantas verdes a través de las hojas.

Derecha, muchas aves y reptiles marinos disponen de glándulas salíferas que excretan el exceso de sales marinas ingeridas.



Escaneado con CamScanner



Tres ejemplos de excreción vegetal. De izquierda a derecha: célula oleífera de una hoja de laurel, bolsa oleífera de una hoja de hipérico, canales laticíferos de la raíz del diente de león.

sangre o el líquido intersticial) y luego modifican su composición al resorber las sustancias aún necesarias para el organismo. Finalmente, el producto excretorio definitivo (por ejemplo, la orina) es expulsado del cuerpo.

Eliminación del anhídrido carbónico

Los animales sólo tienen un producto gaseoso de desecho, el CO_2, que puede ser eliminado directamente a través de la **membrana celular**, como ocurre en los protozoarios y animales de organización sencilla (celentéreos, platelmintos, etc.), a través de las **tráqueas**, como en los insectos, o bien a través de la **sangre** y de ésta a la **piel**, **branquias** o **pulmones**.

En este último caso, al incorporar CO_2, la sangre arterial se transforma en sangre venosa, que pasa a los pulmones donde por difusión el gas carbónico es expulsado al exterior.

Mecanismos excretores en los invertebrados

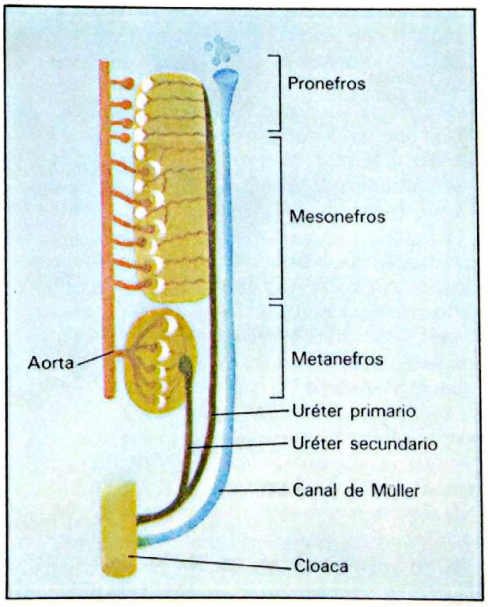
Entre los invertebrados se observan diversos mecanismos para la eliminación de desechos y la osmorregulación.

- Los **órganos nefridiales** constan de tubos que desembocan al exterior del cuerpo a través de los *poros nefridiales*. Es el caso de los **protonefridios** de los platelmintos y los **metanefridios** de las lombrices de tierra.
- Las **glándulas antenales** (también llamadas *glándulas verdes*) de los crustáceos están formadas por un saco celómico, una cámara glandular, un tubo excretor y un conducto de salida.
- Los **tubos de Malpigio** de los insectos son ciegos por un extremo y desembocan por el otro en el intestino, donde vierten los productos de excreción que han recogido por filtración a través de sus paredes desde el interior del cuerpo.

El riñón de los vertebrados

Los riñones constituyen, en número de dos, los órganos excretores propios de los vertebrados, y están formados por millones de tubos microscópicos cada uno de los cuales constituye una unidad estructural y funcional que recibe el nombre de **nefrona**. En los vertebrados inferiores, las nefronas o túbulos renales se abren en la cavidad general del cuerpo. En los vertebrados más evolucionados, desembocan en la **pelvis renal**, de la que arranca un tubo, el **uréter**, que conduce la *orina* hasta la **vejiga**, de donde es expulsada al exterior por la **uretra**.

Los **vertebrados acuáticos** tienen, en particular, un problema continuo de osmorregulación. Por ejemplo, los peces óseos marinos pierden agua por ósmosis, pérdida que compensan ingiriendo grandes cantidades de agua de mar y excretando la sal por las branquias; mientras que en los dulceacuícolas el agua entra en sus cuerpos por ósmosis, por lo que estos animales excretan un gran volumen de orina diluida. Las aves y reptiles marinos, por ejemplo, tienen glándulas de sal que excretan el exceso de sales marinas ingeridas.



Esquema general del aparato excretor de los vertebrados. El metanefros es permanente en los reptiles, las aves y los mamíferos.

Escaneado con CamScanner

Defensa interna: las reacciones inmunitarias

26

Para protegerse contra posibles agentes nocivos para sus células, todos los animales tienen mecanismos de defensa específicos que en su conjunto forman el sistema inmune.

Todos los animales tienen mecanismos de defensa para protegerse contra posibles agentes nocivos para sus células. Estos agentes dañinos pueden ser células extrañas o sustancias químicas que pueden interferir en el metabolismo. Los organismos extraños que, al proliferar en el cuerpo de un individuo (**infección**), pueden provocar enfermedades reciben el nombre de **organismos patógenos**, entre los cuales hay principalmente virus, bacterias, protozoos y hongos.

SISTEMAS DEFENSIVOS NO ESPECÍFICOS

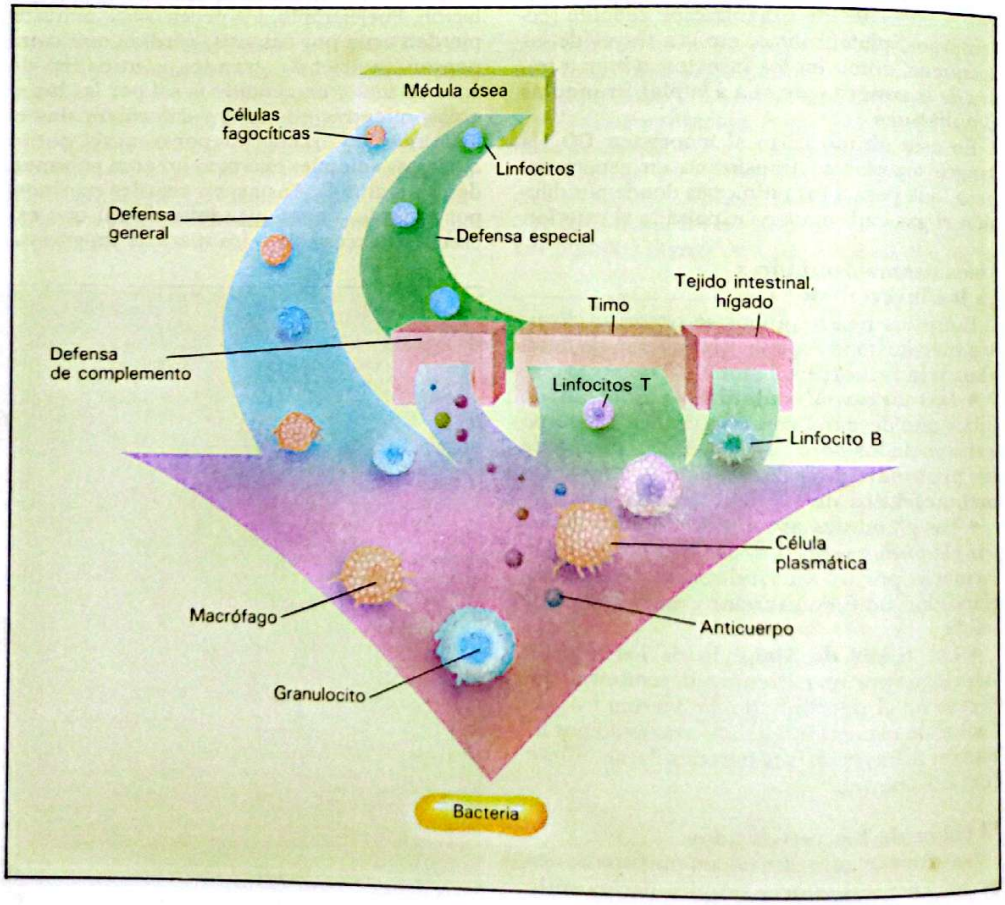
Los animales tienen tres niveles de defensa frente a la infección de agentes patógenos:

- Las **superficies protectoras** del cuerpo constituyen verdaderas barreras defensivas que se oponen pasivamente a la invasión extraña. Los principales mecanismos de este tipo son: la **piel**, las **mucosas** y sus secreciones (saliva, moco, lágrimas, etc.), los **epitelios** de las **vías respiratorias** y del **aparato urinario y genital**, y las **secreciones ácidas del estómago**.
- La **respuesta celular inespecífica** constituye una segunda barrera defensiva contra los agentes patógenos que logran atravesar las barreras superficiales y está representada por la **fagocitosis**, la **inflamación** y la secreción de **interferón**.

Inflamación y fagocitosis

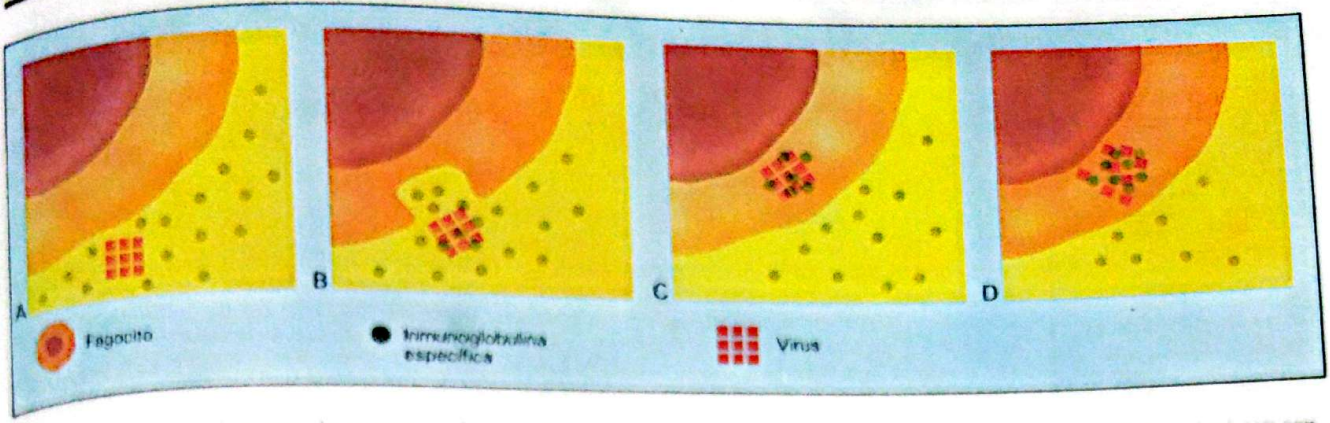
Cuando los agentes patógenos invaden los tejidos se desencadena una reacción inflamatoria, caracterizada por una dilatación de los vasos de la zona afectada que incrementa el flujo sanguíneo y la permeabilidad de los capilares. El aumento del flujo sanguíneo lleva un gran número de células fagocitarias hacia el área infectada, mientras que el aumento en la permeabilidad de los vasos permite que las gammaglobulinas (que actúan como anticuerpos) ingresen en los tejidos.

El conjunto de las células fagocitarias forma el llamado **sistema reticuloendotelial**. Se trata de células (**fagocitos**) capaces de capturar con sus pseudópodos a los microor-



Los linfocitos B son los responsables de la respuesta inmune mediada por anticuerpos, atacando a los antígenos o cuerpos extraños (en este caso una bacteria patógena).

Escaneado con CamScanner



Los fagocitos capturan con sus pseudópodos a los microorganismos extraños, a los que destruyen y digieren en sus vacuolas ricas en lisosomas. La fagocitosis constituye el mecanismo de defensa más generalizado en el mundo animal.

ganismos extraños, a los que destruyen y digieren en sus vacuolas ricas en lisosomas. Unas son móviles, como los **leucocitos** (neutrófilos y monocitos) de la sangre y los **histiocitos** o macrófagos del tejido conjuntivo, y otras son fijas, como los **macrófagos fijos** que revisten interiormente los canales del hígado, bazo, médula ósea y otros órganos.

La fagocitosis constituye el mecanismo de defensa más generalizado en el mundo animal y, en la mayoría de los invertebrados, el único sistema de defensa celular.

El interferón

Ciertos tipos celulares, al ser infectados por virus u otros parásitos intracelulares, reaccionan secretando proteínas llamadas interferones, que estimulan otras células para que produzcan proteínas antivirales que impiden que la célula sintetice las macromoléculas necesarias para el virus. El interferón no actúa selectivamente con un virus determinado (no es específico), pero presenta especificidad de especie, es decir, que las células de cada especie animal produce su propio interferón.

MECANISMOS DE DEFENSA ESPECÍFICOS: SISTEMA INMUNE

Además de las reacciones inmunitarias inespecíficas, los vertebrados poseen mecanismos de defensa más complejos gracias al desarrollo de un sistema linfático especializado.

El concepto restringido de **inmunidad**, definida como aquel estado de resistencia que presentan los organismos frente a la infección, queda actualmente enmarcado dentro de un significado mucho más amplio, de forma que la **respuesta inmune** no sólo queda limitada a la reacción frente a la acción microbiana, sino también a otros elementos no propios procedentes tanto del exterior (proteínas o tejidos ajenos) como del propio individuo (células cancerosas).

Existen dos tipos principales de inmunidad específica:

- la **inmunidad mediada por células**, en la que los linfocitos atacan directamente al patógeno invasor, y
- la **inmunidad mediada por anticuerpos**, en la que los linfocitos producen anticuerpos específicos encaminados a destruir el agente patógeno.

Linfocitos T y B: la respuesta inmune

La respuesta inmune corre a cargo principalmente de los linfocitos, que en los vertebrados superiores presentan dos tipos, T y B, según maduren en el timo o en la bolsa de Fabricio. Ambos tipos se originan en la médula ósea o en el hígado embrionario.

- Los **linfocitos T** son la base de la inmunidad mediada por células, atacando al **antígeno** (cuerpo extraño) por su presencia. Los antígenos que desarrollan más activamente este tipo de respuesta son los microorganismos patógenos, las células tumorales y los antígenos de histocompatibilidad (HLA), responsables de los rechazos en el trasplante de tejidos y órganos.
- Los **linfocitos B** son los responsables de la *respuesta inmune humoral* (mediada por anticuerpos). Al activarse, se transforman en *células plasmáticas* que secretan anticuerpos específicos llamados *inmunoglobulinas*. Los anticuerpos se difunden hacia la linfa y luego son transportados hacia la zona invadida. El anticuerpo se combina con un antígeno específico para formar un **complejo antígeno-anticuerpo**, el cual es capaz de desactivar el patógeno, estimular la fagocitosis o activar el **sistema del complemento**, que incrementa la reacción inflamatoria y la fagocitosis.

Fenómenos inmunitarios no infecciosos

Otros fenómenos inmunitarios, no infecciosos, también se basan en la reacción antígeno-anticuerpo. La **hipersensibilidad** es una sensibilidad exagerada frente a determinados antígenos que, en el caso de las **alergias**, reciben el nombre de *alergenos*; la **anafilaxia** es un estado de hipersensibilidad provocado artificialmente por introducción en el organismo de proteínas extrañas. Los tejidos trasplantados poseen los llamados antígenos de **histocompatibilidad** que estimulan el rechazo del injerto, así como las células tumorales producen **autohistocompatibilidad** por contener **antígenos tumorales**. La **autoinmunidad** es un caso especial en el que un organismo puede fabricar anticuerpos contra sustancias propias. Los fenómenos de aglutinación entre diferentes **grupos sanguíneos** y los problemas de incompatibilidad maternofetal derivados del **factor Rh** (antígeno presente en los glóbulos rojos del 85% de los humanos), también están íntimamente relacionados con las reacciones antígeno-anticuerpo.

Escaneado con CamScanner

Sensibilidad: coordinación nerviosa y hormonal

27

La sensibilidad es la capacidad para reaccionar frente a estímulos y tiene lugar a través de órganos receptores que captan el estímulo. Éste es transmitido mediante el sistema nervioso y hormonal, y los músculos y las glándulas elaboran la respuesta adecuada.

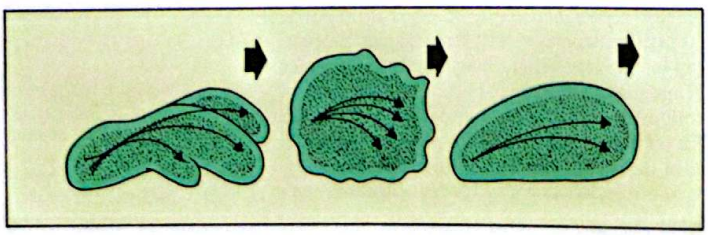
La sensibilidad de la materia viva se manifiesta por su capacidad para reaccionar frente a estímulos físicos o químicos procedentes tanto del interior del propio organismo como del exterior. Así como en los seres unicelulares todas las funciones vitales se realizan en la misma célula, en la organización pluricelular, en la que existe una división del trabajo fisiológico, la sensibilidad o excitabilidad corre a cargo de tres tipos de órganos que actúan de manera sucesiva:

- Los **órganos receptores** se encargan de captar los estímulos.
- Los **sistemas nervioso y hormonal** se encargan de la transmisión, coordinación e integración de las sensaciones captadas por los receptores.
- Los **órganos efectores**, esencialmente los músculos y las glándulas, son los que elaboran la respuesta adecuada.

LAS CÉLULAS Y LOS ORGANISMOS UNICELULARES

Aunque los estímulos y las reacciones de las células a ellos adoptan formas muy variadas, adquieren especial importancia las reacciones motrices, las cuales implican la transformación de la energía química bajo forma de ATP en energía mecánica. En la mayoría de los seres unicelulares y en las células libres de los pluricelulares, las reacciones motrices pueden suponer un desplazamiento (locomoción), mientras que en las restantes células de los seres pluricelulares y las unicelulares que viven fijas, la moticidad se limita a provocar movimientos de algunas de sus partes. En el primer caso se encuentran los movimientos **ameboide** (por pseudópodos) y **vibrátil** (por cilios y flagelos); en el segundo caso se encuentran la mayoría de los **movimientos endocelulares**, **contráctiles** y **pulsátiles**.

Ejemplos de movimiento celular: arriba, movimiento mediante flagelo en un espermatozoide; abajo, movimiento ameboide.



MENSAJEROS QUÍMICOS DE LA VIDA DE RELACIÓN

La compleja red de comunicaciones intercelulares gracias a la cual los organismos pluricelulares establecen su vida de relación funciona mediante sustancias químicas, denominadas **mensajeros químicos**, elaboradas por determinadas células y que actúan sobre otras células, denominadas **células diana**, en las cuales inducen unas determinadas respuestas. En la comunicación nerviosa, dichos mensajeros son los **neurotransmisores** y las **neurohormonas**; en la comunicación endocrina, las **hormonas**, sustancias que son segregadas por las *glándulas endocrinas* y llegan a las células diana a través de la corriente sanguínea.

El **sistema nervioso** es un sistema de comunicación rápido, que gobierna la actividad de los órganos y puede reaccionar a estímulos exteriores, mientras que el **sistema hormonal** o **endocrino** (también llamado *humoral*) es más lento y coordina el funcionamiento de las células y los tejidos.

- Los **neurotransmisores** (como la adrenalina, serotonina, dopamina, acetilcolina, etcétera) son sintetizados en el cuerpo celular de las neuronas y almacenados en vesículas situadas cerca de la sinapsis. Al llegar el impulso nervioso, son liberados y atraviesan el espacio sináptico, estimulando o inhibiendo la célula postsináptica.
- Las **neurohormonas** (como la vasopresina, oxitocina, etc.) son sintetizadas por neuronas especializadas y llevadas por la sangre hasta los órganos efectores diana.
- Las **hormonas** son producidas en las glándulas endocrinas y transportadas por la sangre a los órganos efectores, situados a distancia de los órganos productores.

EL SISTEMA NERVIOSO

Todo sistema nervioso está formado por un conjunto de neuronas interconectadas, de manera que la unidad estructural y funcional, la neurona, es igual en todos los niveles de organización, así como el impulso nervioso.

El potencial de acción y el impulso nervioso

El potencial de acción es la desviación del potencial de reposo de membrana celular como consecuencia de un estímulo, siendo el potencial de reposo la diferencia de potencial eléctrico existente entre el interior de la célula y la superficie de la membrana activa, es decir, polarizada. Este potencial de acción se propaga en forma de impulso nervioso según la llamada **ley del todo o nada**, es decir que hasta que el estímulo no alcanza una determinada potencia no se inicia el impulso nervioso, pero una vez sobrepasado este nivel o **umbral** la conducción del impulso se mantiene constante aunque la potencia del estímulo siga aumentando.

Escaneado con CamScanner

El **flujo de información** a través del sistema nervioso pasa por las siguientes fases: recepción, transmisión, integración y respuesta por un efector.

• **Recepción**. Los **receptores** constan generalmente de una o varias células especializadas, o bien son simples terminaciones nerviosas que pueden acabar libres o hallarse revestidas formando los llamados *corpúsculos sensitivos*. El grado de especialización más complejo se halla representado por los *órganos de los sentidos*.

• **Transmisión**. Una vez estimulado el receptor, el mensaje es transmitido hacia el sistema nervioso central, tras lo cual otras señales regresan a las células efectoras adecuadas. La información es conducida a través de una secuencia de *neuronas*, pasando de una neurona a otra a través de las *sinapsis*, generalmente por un fenómeno químico en el que participan la secreción de un neurotransmisor por parte del axón y la acción de los miorreceptores de la dendrita.

• **Integración**. La integración neural es el proceso de adición y sustracción de las señales que llegan hasta el sistema nervioso y la determinación de la respuesta más apropiada. Cada una de las neuronas del cuerpo actúa como un integrador que selecciona los miles de fragmentos de información que la bombardean continuamente.

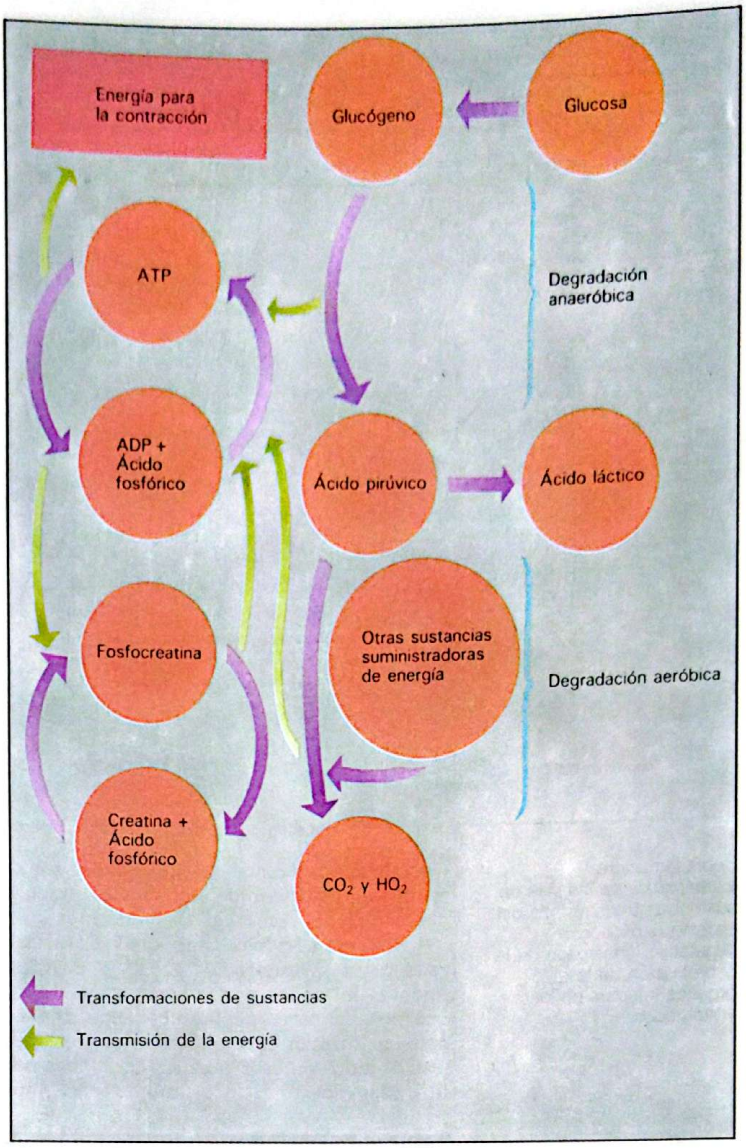
Niveles de organización del sistema nervioso

La evolución del sistema nervioso parte de la separación de las funciones sensoriales y motoras, pasa por la interposición de un sistema neuronal que origina una red nerviosa y el desarrollo de un sistema nervioso central, y alcanza su máximo desarrollo en los vertebrados, en los cuales los cuerpos celulares de las interneuronas y de las neuronas motrices ocupan una posición central en la cadena nerviosa.

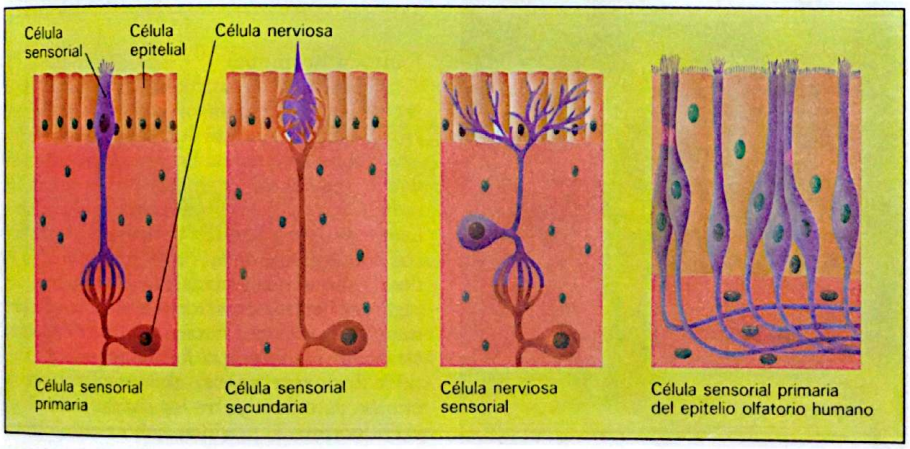
• **Sistema nervioso de red difusa**. Consta de una red de células nerviosas subepidérmicas de aspecto estrellado, a través de la cual el impulso nervioso se propaga en todas direcciones. Es propio de los celentéreos.

• **Sistema nervioso cordal**. Formado por cordones de células nerviosas que recorren el cuerpo del animal de delante atrás, de los cuales parten numerosas fibras nerviosas distribuidas por todo el cuerpo. Es propio de platelmintos, nematodos y otros animales inferiores.

• **Sistema nervioso anular**. Consta de un cordón nervioso anular que rodea el esófago

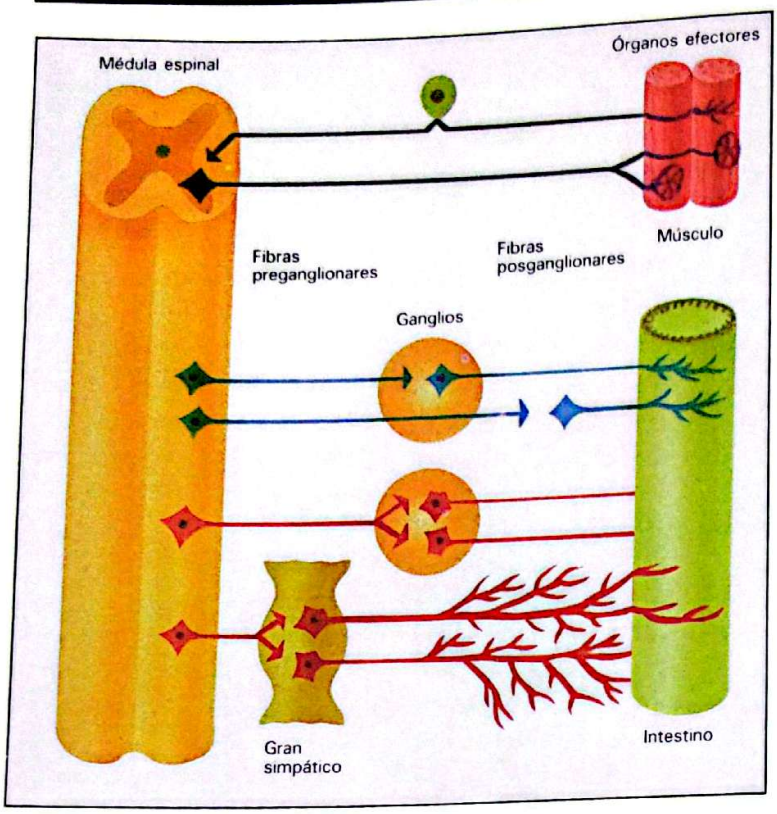


Esquema del proceso energético en el músculo.



Las células sensoriales se organizan en tres tipos morfológicos fundamentales: células sensoriales primarias, células sensoriales secundarias y células nerviosas sensoriales.

Escaneado con CamScanner

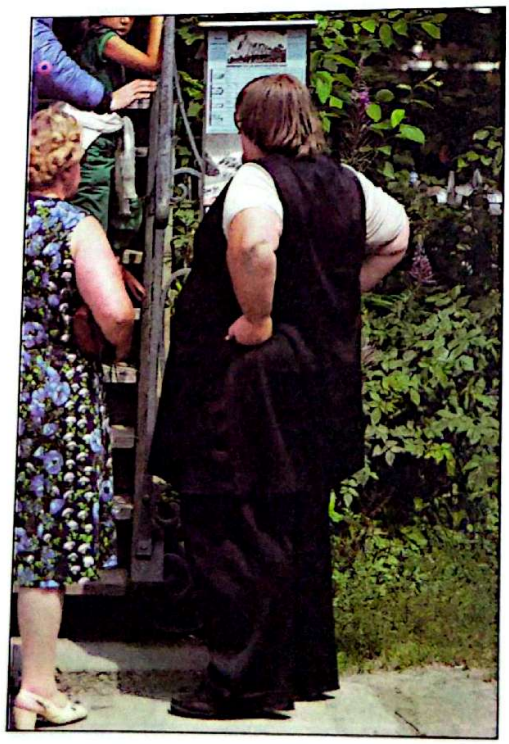


Representación esquemática de las vías de sustancias transmisoras del sistema nervioso vegetativo, encargado de la coordinación de los órganos internos en los vertebrados.

y del que parten cinco nervios radiales que se ramifican. Es propio de animales de simetría pentarradiada, como los equinodermos.

• **Sistema nervioso ganglionar.** Caracterizado por la presencia de ganglios, engrosamientos formados por la agrupación de los cuerpos celulares de las neuronas. Dichos ganglios forman generalmente dos cordones unidos a dos gruesos ganglios cerebrales por un collar esofágico. De los ganglios parten los nervios que se distribuyen por las distintas partes del cuerpo. Es propio de los anélidos, artrópodos, moluscos y muchos otros invertebrados.

• **Sistema nervioso tubular.** Formado por un tubo en posición dorsal, la médula espinal, con un ensanchamiento en el extremo anterior, el encéfalo, formando el conjunto el llamado sistema nervioso central. Los centros nerviosos se diferencian de los ganglios porque en ellos no hay solamente los cuerpos de las neuronas, sino también una gran parte de las fibras nerviosas y neuronas completas con sus extensiones. De los centros nerviosos salen los nervios que forman el sistema nervioso periférico, constituidos por fibras nerviosas y, a veces, con ganglios intercalados.



La obesidad patológica generalmente se debe a una disfunción hormonal.

SISTEMA ENDOCRINO: LAS HORMONAS ANIMALES

El sistema endocrino funciona en estrecha coordinación con el sistema nervioso para el mantenimiento de la homeostasia. Las principales hormonas son secretadas por las **glándulas de secreción interna**, pero también hay hormonas secretadas por neuronas y otros tipos de células especializadas. Actualmente se define la hormona como un mensajero químico producido por un tipo de célula, que tiene efectos regulatorios específicos sobre la actividad de otro tipo de células, llamadas células diana o células blanco, a las cuales llegan por vía sanguínea.

Naturaleza de las hormonas

Las hormonas pueden ser esteroides, proteínas o derivados de ácidos grasos o aminoácidos, y son específicas porque las células de los tejidos diana tienen receptores especiales para ellas.

• Las **hormonas esteroides** pasan a través de la membrana de las células diana y se combinan con receptores específicos del citoplasma. Probablemente, esos complejos hormona-receptor activan genes específicos.

• Muchas **hormonas proteínicas** se combinan con los receptores de la membrana de la célula diana y actúan por medio de un segundo mensajero, como el AMP cíclico.

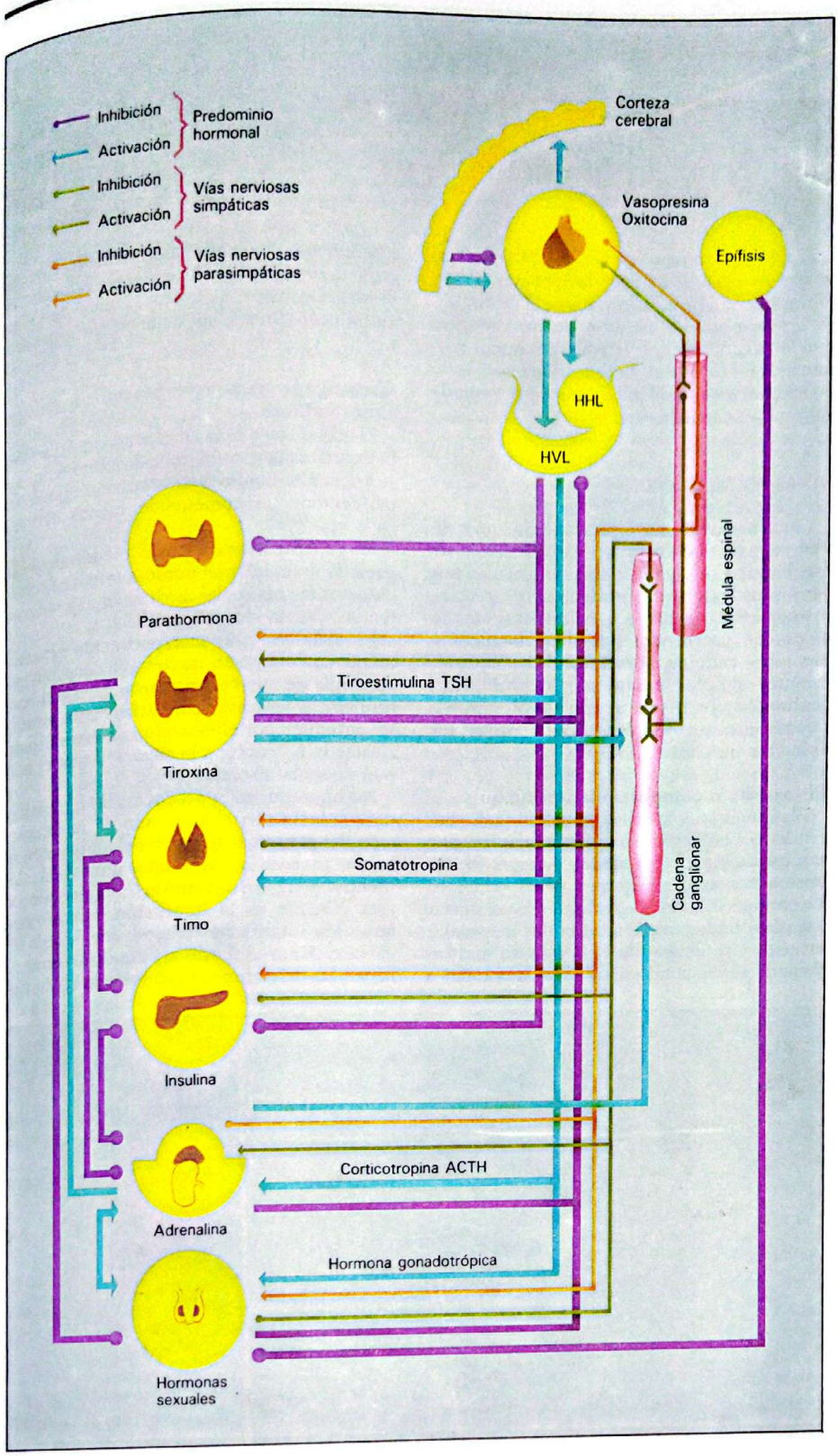
• Las **prostaglandinas** ayudan a regular la acción hormonal al controlar la formación de AMP cíclico.

Función hormonal

La secreción de hormonas es regulada por mecanismos de control por retroalimentación negativa. Muchas de las hormonas de los invertebrados, secretadas por neuronas, ayudan a regular la regeneración, la muda, la metamorfosis, la reproducción y el metabolismo. Así, las glándulas ópticas de los moluscos son órganos endocrinos que estimulan el desarrollo de las gónadas; la distribución del pigmento en los crustáceos está regulado por neurohormonas; el desarrollo de los insectos está controlado por la hormona juvenil.

En los vertebrados, el hipotálamo es el puente de enlace entre los sistemas nervioso y endocrino, y produce ocho neurohormo-

Escaneado con CamScanner



Regulación hormonal y nerviosa. En los vertebrados, el hipotálamo hace posible una estrecha cooperación entre el sistema nervioso vegetativo y el sistema hormonal.

nas. La hipófisis segrega una serie de hormonas estimuladoras de la secreción de otras glándulas. La glándula tiroide produce tres hormonas: tiroxina, triyodotironina y calcitonina. La médula y corteza suprarrenales secretan hormonas que ayudan al cuerpo a enfrentarse al estrés; la primera produce adrenalina y noradrenalina, y la segunda los mineralocorticoides, glucocorticoides y hormonas sexuales de ambos sexos. También secretan hormonas el páncreas, las gónadas, el tubo digestivo, la placenta, etc.

Escaneado con CamScanner

Etología: el comportamiento de los seres vivos

28

La etología es una ciencia relativamente moderna que estudia el comportamiento de los organismos, es decir, su forma de reaccionar ante las señales o estímulos que recibe de su ambiente interno y externo.

El comportamiento de un organismo es su forma de reaccionar ante las señales o estímulos que recibe de su ambiente. El estímulo es captado por los órganos de los sentidos, que lo hacen llegar al sistema nervioso y hormonal, con lo que se desencadena una serie de mecanismos fisiológicos que conforman la respuesta adecuada.

NIVELES DE CONDUCTA

Las reacciones más sencillas ante un estímulo consisten en **tropismos** o reacciones de crecimiento (en las plantas) controladas por estímulos externos (fototropismo, geotropismo, etc.), **taxias** o movimientos de locomoción provocados por algún factor ambiental, y **reflejos**, caracterizados por movimientos simples totalmente involuntarios, realizados de modo inconsciente, movimiento que se produce especialmente en los animales superiores.

El instinto o comportamiento innato

El comportamiento instintivo es innato, hereditario y no aprendido, y se caracteriza por ser estereotipado, es decir, siempre de la misma manera, sin mejorar con la repetición. La conducta instintiva suele obedecer más a impulsos internos que a estímulos del medio exterior y se desarrolla en forma de una cadena de actos de tal modo que la realización de cada uno de dichos actos sirve de estímulo para desencadenar el siguiente. Además, el comportamiento instintivo es muy parecido en todos los individuos de la misma especie o raza.

El resultado de la experiencia: el aprendizaje

El aprendizaje es la conducta adquirida con la experiencia y, a diferencia del instinto, no se transmite con la herencia, sino que se va perfeccionando cometiendo menos errores cada vez.

En general, el aprendizaje obedece a la capacidad de imitación, por lo que se ve favorecido por la vida social del individuo y, en particular, por la vida en familia.

En el laboratorio se experimenta generalmente con el tipo de aprendizaje denominado **aprendizaje con recompensa**, pero en la naturaleza, la mayoría de las crías de los animales aprenden por eliminación de errores para ajustar la respuesta a la situación que el animal necesita afrontar.

No obstante, en la práctica, muchas pautas de conducta son el resultado de la interacción del programa genético del animal con el medio exterior y, por tanto, contienen elementos innatos y adquiridos. Un ejemplo de esta relación es la **impresión** o *imprinting* que suele observarse en aves y mamíferos. El etólogo Konrad Lorenz descubrió que, al nacer, las crías de ganso identifican cualquier

El comportamiento instintivo es innato y hereditario; se caracteriza por ser estereotipado, es decir, siempre de la misma manera, y es muy parecido en todos los individuos de la misma especie o raza.

Escaneado con CamScanner

En los gansos, la identificación y el seguimiento espontáneos forman parte del comportamiento innato, pero el reconocimiento de la madre es adquirido. Cualquier objeto cercano en movimiento puede ser seguido a todas partes por los recién nacidos.

objeto muy cercano en movimiento con la madre, siguiéndolo a todas partes. La identificación y el seguimiento espontáneos forman parte del comportamiento innato del ave; pero el reconocimiento de la madre es adquirido.

Aprendizaje por comprensión

Es el nivel más complejo de aprendizaje y consiste en la capacidad de combinar varias experiencias de aprendizaje separadas en el tiempo para producir una respuesta nueva con la cual se consigue el objetivo deseado. Es una conducta propia de los primates superiores, pero que también se da en muchos mamíferos y aves.

MODALIDADES DE CONDUCTA

Defensa y ataque

En el mundo animal se dan muchas modalidades de conducta agresiva y defensiva, entre las que destacan:

- **Defensa del territorio**. Desde el punto de vista de la etología, el territorio es un área ocupada y defendida por un animal (o grupo de animales) de la cual rechaza a otros posibles ocupantes mediante un comportamiento agresivo o de advertencia.
- **Depredación**. Es el acto de matar a otro animal para devorarlo, lo que supone una actividad agresiva por parte del depredador y una actividad por parte de la presa. La proximidad de la presa desencadena (por estímulos visuales, olfatorios, etc.) en el depredador la actitud de ataque, que suele ser cautelosa; en una segunda fase se realiza el lanzamiento rápido por sorpresa. La defensa frente al ataque puede adoptar varias modalidades, como la huida o el camuflaje (mimetismo).
- **Defensa y cuidado de la prole**. Muchos animales protegen y defienden a la prole de cualquier agresión, proporcionando alimentos y educación a los hijos hasta que éstos pueden valerse por sí mismos. Tal comportamiento suele obedecer a estímulos visuales y táctiles.

El cortejo

El apareamiento entre individuos de distinto sexo, necesario en muchas especies para que tenga lugar la fecundación, suele ir precedido de una serie de ceremonias que constituyen el cortejo o galanteo. Este tipo de conducta se presenta, bajo diversas modalidades, tanto en mamíferos, como en peces y en las aves (*parada nupcial*); pero la finalidad es en cualquier caso la misma:

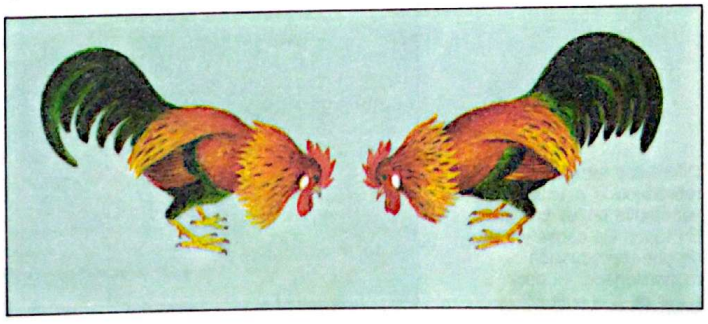
- El **reconocimiento de los sexos**.
- La **disminución de la agresividad**, haciendo posible la atracción mutua.
- La **sincronización del estado fisiológico** mediante estimulación de la secreción de hormonas sexuales y de la producción de gametos, despertando el impulso sexual.

Comportamiento social

El comportamiento social es una interacción intraespecífica de orden adaptativo. En una sociedad existen mecanismos de **comunicación, cooperación** y **división del trabajo**. La comunicación animal comprende la transmisión de señales de manera involuntaria, como resultado de su estado fisiológico, que pueden ser de muchos tipos; por ejemplo, las **feromonas** son señales químicas que transmiten información entre los miembros de una especie. Las jerarquías de dominancia son el resultado de la supresión del comportamiento agresivo; este tipo de relaciones pueden ser fisiológicas y sociales.

Las migraciones

Las migraciones son desplazamientos de poblaciones o de grupos numerosos a otro territorio situado a veces a mucha distancia, para regresar al cabo de un tiempo al lugar de origen. Generalmente, la migración responde a la búsqueda de condiciones más favorables para la reproducción o para la alimentación y suele seguir un ritmo estacionario. En algunas aves, la **necesidad de migrar** y la **dirección migratoria** parecen estar genéticamente determinadas, aunque los mecanismos reales de **orientación** pueden ser aprendidos.



En un gallinero existe una jerarquización rigurosa que se pone en entredicho casi constantemente mediante un comportamiento agresivo, generalmente sin grandes daños para el perdedor.

Escaneado con CamScanner

La reproducción celular: mitosis y meiosis

29

La reproducción es la característica más sobresaliente de los seres vivos. Mediante el proceso reproductivo se forman generaciones de descendientes similares a los miembros de la generación progenitora.

El proceso reproductivo representa la formación de una nueva generación de descendientes parecidos a los miembros de la generación progenitora. Tanto en los seres unicelulares como en los pluricelulares, la reproducción implica la multiplicación celular.

MULTIPLICACIÓN CELULAR

La reproducción celular consiste en la división de una **célula madre** en dos o más **células hijas**. Sea cual fuere la modalidad que adopte tal proceso, siempre implica la división del núcleo (**cariotomía**) y la del citoplasma (**plasmotomía**), ambos fenómenos de forma independiente.

Tres modalidades

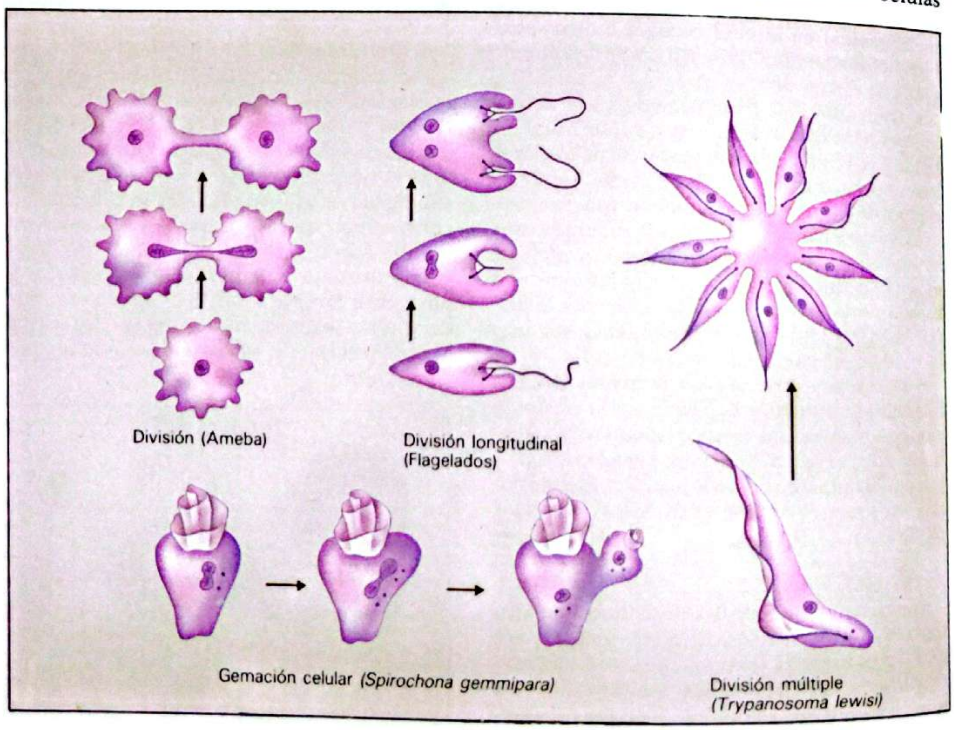
Se distinguen tres modalidades de multiplicación celular:

- **Gemación**. Sobre la célula madre aparece una *yema* que acaba por desprenderse por estrangulación. Aunque las dos células resultantes tengan diferente tamaño, el núcleo queda repartido por igual en ambas.
- **Bipartición**. La célula madre da lugar a dos células hijas más o menos iguales, pues no sólo el núcleo queda repartido por igual en ambas, sino también el citoplasma.
- **División múltiple**. El núcleo de la célula madre se divide repetidamente; cada porción de núcleo, con una porción de citoplasma, se rodea de una membrana; al romperse la membrana de la célula madre se liberan las células hijas formadas en su interior.

Arriba, durante la última fase de la mitosis los nucleolos reaparecen y los cromosomas se alargan.

DIVISIÓN DIRECTA O AMITOSIS

En la división directa, el núcleo se alarga, se estrecha en el centro y acaba por partirse en dos. En unos casos el citoplasma sigue el mismo proceso y se originan dos células



Diferentes formas de reproducción asexual o vegetativa en los protistos. En todos los casos se trata de una reproducción monocitógena, es decir, a partir de una sola célula.

Escaneado con CamScanner

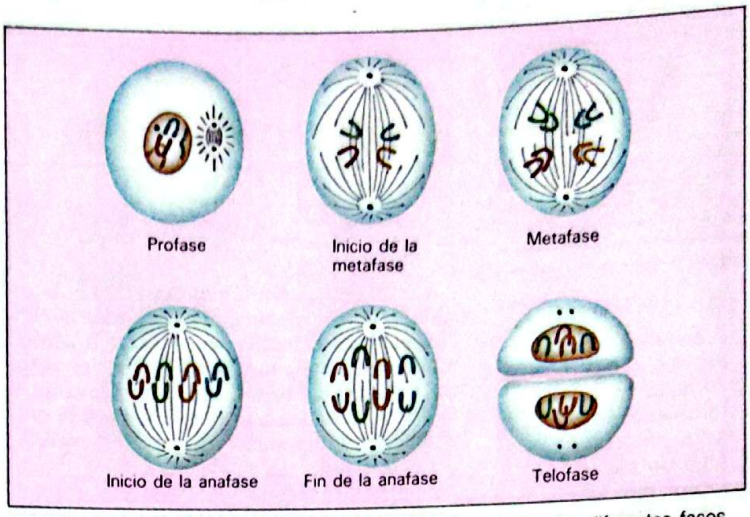
hijas, pero en otros esto no ocurre y se origina un *plasmodio*, es decir, una célula plurinucleada.

MITOSIS

En la división celular indirecta, la división del núcleo da por resultado la distribución de una serie completa de cromosomas, de tal manera que cada célula hija recibe un juego íntegro. La división real de la célula ocurre en una determinada fase del proceso (generalmente la telofase), originándose así las dos células hijas, cada una con el mismo número y clase de cromosomas que poseía la célula madre. En el proceso se distinguen (sólo con fines descriptivos) cuatro fases.

- **Profase**. Durante la profase, las cromátidas se condensan, el nucléolo desaparece, la membrana nuclear se degrada y empieza a formarse el huso mitótico.
- **Metafase**. Las cromátidas se alinean en el ecuador de la célula; el huso mitótico está completo.
- **Anafase**. Los cromosomas se separan y emigran hacia los polos opuestos de la célula.
- **Telofase**. Se forma una membrana nuclear alrededor de cada juego de cromosomas, los nucléolos reaparecen, los cromosomas se alargan y por lo general tiene lugar la división del citoplasma (citocinesis).

La formación de las cromátidas durante la mitosis es el resultado de la autoduplicación del ADN, es decir, que la molécula de ADN da lugar a dos moléculas semejantes a ella, cada una de las cuales corresponde a una cromátida.



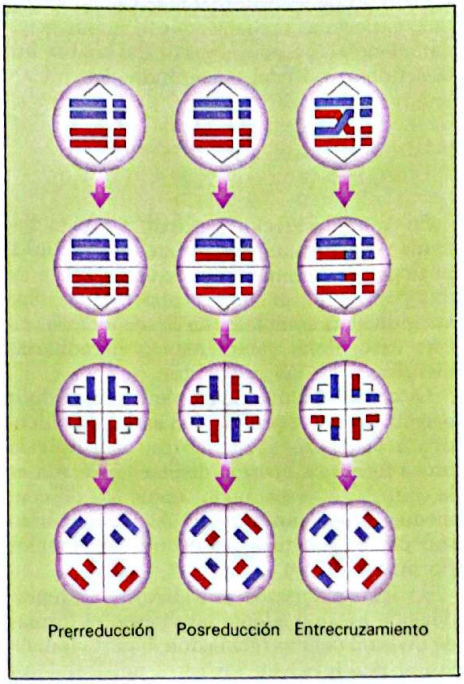
Arriba, las diferentes fases en el proceso de la mitosis o división nuclear indirecta. La división real de la célula suele ocurrir en la telofase.

LA DIVISIÓN REDUCCIONAL: MEIOSIS

La constancia del número de cromosomas en las células de las generaciones sucesivas en los organismos con reproducción sexual está garantizada por el proceso de la meiosis, que permite que los gametos reciban solamente la mitad de los cromosomas (una serie haploide) para que al unirse resulte un individuo con el número diploide típico de su especie.

El proceso consta de dos divisiones nucleares y celulares consecutivas, atravesando cada una de ellas por las cuatro fases típicas. Durante la primera división meiótica, los miembros de cada par de cromosomas homólogos se separan y distribuyen entre las células formadas. En la segunda división, las cromátidas que integran cada cromosoma se separan y distribuyen entre las células hijas. De este modo, la célula que experimenta la meiosis da lugar no a dos sino a cuatro células hijas haploides.

Por último, una característica de gran importancia diferencia a la meiosis de la mitosis: durante la meiosis, los cromosomas homólogos que contienen la información genética proveniente de los progenitores anteriores son mezclados, de modo que los homólogos de cada par están distribuidos aleatoriamente entre las células resultantes, y así los gametos poseen muchas combinaciones diferentes de cromosomas, algunas de las cuales no existían en la generación previa.



Esquema de la distribución de los cromosomas en la meiosis. La reducción puede producirse durante la primera división (prerreducción) o bien durante la segunda división (posreducción).

- **Profase**. Durante la profase de la primera división meiótica, los cromosomas homólogos se aparean y se enroscan experimentando *sinapsis* y *entrecruzamiento* (intercambio de material genético). El apareamiento de las parejas de cromosomas homólogos da lugar a las *tétradas*, formadas por cuatro cromátidas.
- **Metafase**. Las tétradas se disponen en el plano ecuatorial de la célula.
- **Anafase**. Se separan cromosomas completos de cada par de cromosomas homólogos y se distribuyen entre las células hijas.
- **Telofase**. Tras una telofase rápida, cada una de las dos células hijas, como si se tratara de una mitosis ordinaria, inicia la segunda división meiótica, de modo que las dos cromátidas que integran cada cromosoma homólogo se separan y distribuyen entre las células hijas.

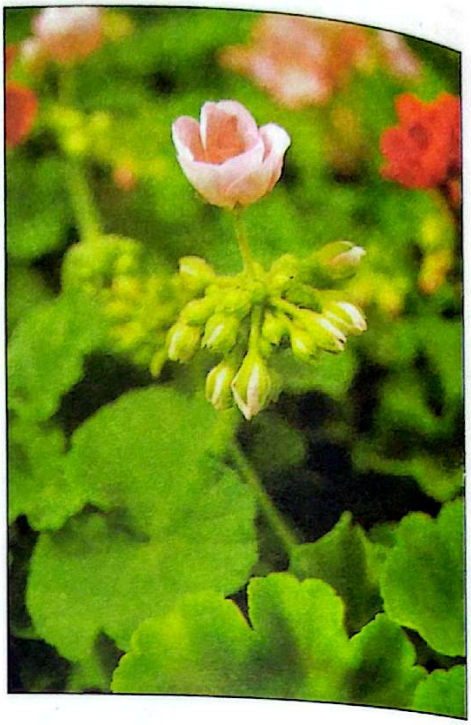
Escaneado con CamScanner

Reproducción asexual 30

La reproducción asexual o vegetativa da lugar a individuos idénticos a los progenitores, pues no hay intercambio de material genético de ningún tipo y, por tanto, no hay variabilidad en la descendencia.

A nivel molecular, la reproducción es el resultado de la capacidad de los ácidos nucleicos para autorreplicarse; a nivel orgánico está representada por la multiplicación celular, y a nivel del organismo entero constituye una característica indispensable para la perpetuación de los seres vivos y de la especie.

En la naturaleza se dan dos tipos fundamentales de reproducción: sexual y asexual. En la reproducción sexual intervienen los gametos o células sexuales, que al unirse originan el cigoto o huevo a partir del cual se inicia el desarrollo del nuevo individuo.



Arriba, en floricultura el geranio se reproduce por esqueje, un ejemplo típico de reproducción asexual o vegetativa.

PODER DE REGENERACIÓN: TOTIPOTENCIA

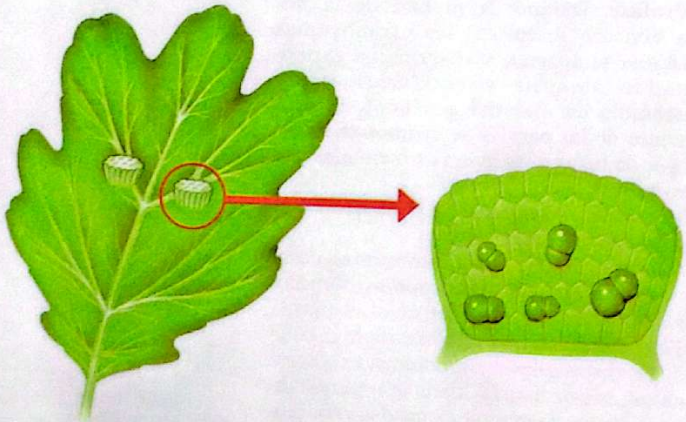
En la reproducción asexual, también llamada vegetativa, un solo progenitor se multiplica por desprendimiento de una célula o de una porción de su cuerpo capaces de formar un individuo completo. La descendencia, en este caso, tiene características hereditarias idénticas a las del progenitor.

La constitución genética de los individuos originados por reproducción asexual es idéntica a la de sus progenitores, dado que la única forma de división celular implicada es la mitosis; de este modo, todos los descendientes originados a partir de un individuo son copias genéticas, es decir, son clonales (forman un *clon*).

En los organismos unicelulares, la reproducción asexual adopta las diferentes formas de división celular (gemación, bipartición, división múltiple). En los seres pluricelulares –vegetales y animales– este tipo de reproducción exige un gran poder de regeneración, o lo que es lo mismo, que sus células conserven todavía la totipotencia embrionaria en lugar de haber experimentado una total diferenciación y especialización. De este modo, una célula totipotente puede multiplicarse y diferenciarse en los distintos tipos de células que requiere la reconstrucción de un organismo completo.

Cuanto más sencilla es la organización de un organismo vivo, mayor totipotencia conservan sus células, por lo que la reproducción asexual está difundida, entre los animales, en grupos inferiores. En muchos vegetales, gracias a la permanencia de tejidos embrionarios en las yemas y otras partes del cuerpo, la reproducción vegetativa constituye casi la norma en la naturaleza, y, de modo artificial (injertos, esquejes, cultivo de tejidos, etc.) el hombre ha explotado esta capacidad regenerativa que poseen casi todas las plantas.

Abajo, en la cara superior del talo de las hepáticas se desarrollan cestillas que contienen propágulos, que son microscópicos y pluricelulares y permiten una reproducción asexual policitógena.

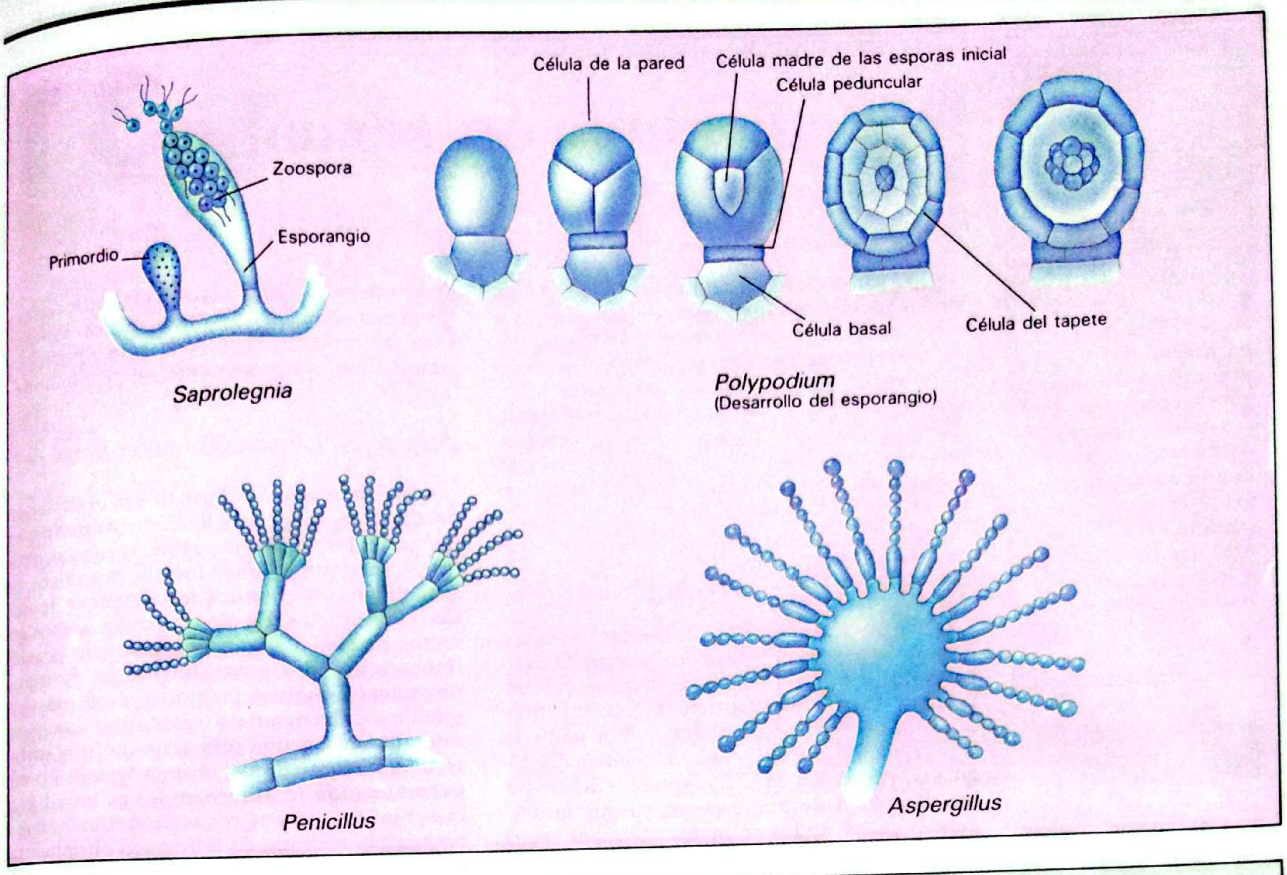


Cestilla de propágulos (Hepáticas)

Gemación

Consiste en la formación de yemas sobre un individuo, las cuales, una vez desarrolladas y convertidas en nuevos individuos, se desprenden para hacer vida libre o bien quedan unidos al progenitor para formar una colonia. Este último caso es muy común en los animales que viven fijos al sustrato y que forman colonias, como los briozoos y los pólipos. A veces, este tipo de reproducción no es

Escaneado con CamScanner



sino una forma de resistencia frente a condiciones desfavorables. Por ejemplo, ciertas esponjas de agua dulce se defienden del frío invernal formando *gémulas* resistentes en el interior de su pared que darán lugar a nuevos individuos en primavera una vez muerto el progenitor.

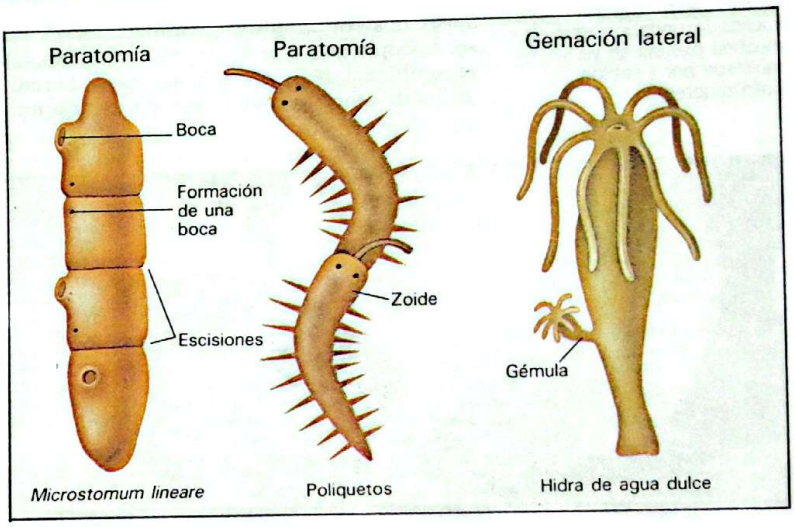
Las yemas que las plantas presentan en el ápice de las raíces y tallos están formadas por un tejido permanentemente embrionario, el meristemo primario, con tal capacidad de desarrollo que separadas de la planta y colocadas en condiciones adecuadas originan un nuevo individuo.

Escisión o fragmentación

Consiste en la fragmentación de un individuo en dos o más trozos, cada uno de los cuales regenera un nuevo individuo. Es una modalidad de reproducción muy común en hidras, esponjas, estrellas de mar y anélidos en general. En algunos casos (poliquetos marinos), el individuo se transforma en una serie de individuos hijos (llamados *zoides*) organizados uno a continuación del otro, que se escinden una vez formados.

Formación de esporas: esporulación

Las esporas son células especializadas en la reproducción, es decir, gérmenes unicelulares capaces de multiplicarse por sí mismos y originar un nuevo individuo; al mismo tiempo, constituyen formas de resistencia (a la sequía, al calor, etc.), característica que, unida al hecho de no tener que fusionarse con otro germen, las convierte en un eficaz método de propagación de las especies.



La *esporulación* (formación de esporas) generalmente tiene lugar en órganos especiales, los *esporangios*, que pueden adoptar características muy diversas. Es un sistema de propagación frecuente en protistas, hongos, algas, musgos, helechos y ciertos grupos de plantas superiores. Por ejemplo, en los hongos, las esporas suelen formarse en las hifas aéreas y así pueden ser arrastradas por el viento y distribuirse en nuevas áreas. En los hongos terrestres, las esporas suelen ser inmóviles (*aplanosporas*) y son arrastradas por el viento o los animales; en los hongos acuáticos son móviles gracias a la presencia de flagelos (*planosporas* o *zoosporas*). Entre los hongos se dan algunos tipos de esporas pluricelulares.

Arriba, ejemplos de reproducción vegetativa monocitógena en el reino vegetal.

Abajo, ejemplos de reproducción asexual o vegetativa en los animales.

Escaneado con CamScanner

La reproducción sexual 31

La alternancia, en un mismo organismo, de una generación asexuada con otra sexuada constituye una adaptación evolutiva que combina las ventajas de distintas formas de reproducción.

En la reproducción sexual intervienen dos células germinales (**gametos**) de distinto sexo: uno masculino (**espermatozoide** en los animales, **anterozoide** en los vegetales) y otro femenino (**óvulo, oosfera**). Dichos gametos se fusionan para integrar el óvulo fecundado o **cigoto**, el cual, en los seres pluricelulares, se desarrollará por sucesivas divisiones mitóticas hasta producir un nuevo individuo, que en este caso no será idéntico a sus progenitores.

UNA MODALIDAD VENTAJOSA

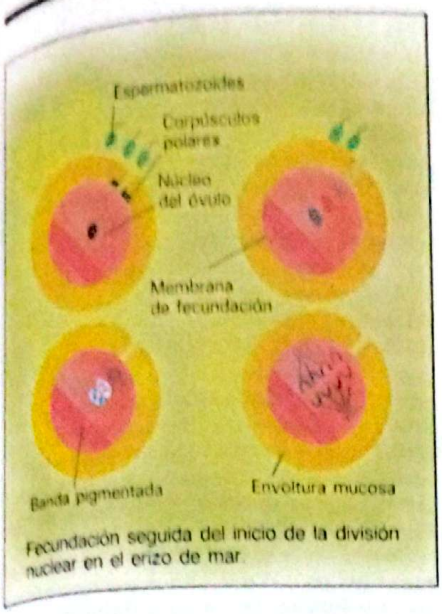
La fecundación implica, a fin de mantener constante el número de cromosomas, la existencia de un tipo especial de división celular reduccional, la **meiosis**, en la cual se produce la recombinación genética. Por tanto, la reproducción sexual tiene la ventaja biológica de promover la variación genética entre los miembros de una especie, ya que la descendencia es, en los animales y muchas veces en los vegetales, el producto de los genes aportados por ambos progenitores, en vez de ser la copia genética de un solo individuo. La recombinación genética de los rasgos hereditarios de ambos progenitores da lugar a una descendencia mejor capacitada para vivir, y los genes ventajosos se difunden con rapidez. Esto facilita a la especie la sobrevivencia y adaptación en un ambiente que evoluciona.

GAMETOS Y ÓRGANOS SEXUALES

• Los **gametos** se forman en órganos reproductores especiales llamados **gónadas**, en los animales, y **gametangios**, en los vegetales, y, salvo en algunas formas primitivas de sexualidad, ésta implica la existencia de dos tipos de gametos. En algunos casos ambos gametos pueden ser morfológicamente iguales (**isogamia**), pero generalmente se distingue un **macrogameto** femenino y otro más pequeño o **microgameto** masculino (anisogamia). La anisogamia más acusada (**oogamia**) se da en los metazoos: el microgameto o **espermatozoide** (o **anterozoide**) es móvil gracias a un flagelo y se reduce prácticamente a un núcleo, rodeado de muy poco citoplasma, con cola; el macrogameto u **óvulo** (u **oosfera**) es inmóvil y mucho más grande, ya que almacena en su voluminoso citoplasma las sustancias de reserva necesarias para los primeros pasos del desarrollo del embrión.

La reproducción sexual implica fecundación, que en muchas plantas se ve facilitada por insectos polinizadores.

Escaneado con CamScanner



Fecundación seguida del inicio de la división nuclear en el erizo de mar.

• Los **órganos sexuales** masculinos, en los animales, reciben el nombre de **testículos**, mientras que los femeninos se llaman **ovarios**. En los vegetales se llaman **anteridios** y **oogonios** (en algas y hongos) o **arquegonios** (en los grupos restantes).

• La **formación de los gametos** o **gametogénesis** en los animales pluricelulares es un proceso complejo que tiene lugar en el interior de las gónadas en virtud del cual las células germinales se multiplican, crecen y maduran hasta transformarse en espermatozoides, en la **espermatogénesis**, o en óvulos, en la **oogénesis**.

Hermafroditismo

Los individuos, animales o vegetales, que elaboran a la vez gametos masculinos y femeninos se llaman **hermafroditas**.

• En los **vegetales** superiores puede ocurrir que las flores sean hermafroditas por tener **androceo** y **gineceo**, pero se reserva la denominación de **monoicas** para aquellas plantas que presentan en un mismo individuo flores unisexuales masculinas y femeninas, llamándose **dioicas** cuando hay individuos con flores sólo masculinas y otros con flores sólo femeninas (como la palmera datilera).

• Entre los **animales** hermafroditas rara vez se da la autofecundación a pesar de tener los dos sexos, sino que dos animales copulan entre sí, e incluso en algunas especies los testículos y los ovarios se desarrollan en momentos distintos, con lo que se evita la autofecundación. Las tenias son una excepción a la norma, pues son capaces de autofecundarse, aunque esta forma de reproducción se considera sexual porque hay participación de óvulos y espermatozoides.

FECUNDACIÓN

La fecundación consiste en la fusión de los gametos masculino y femenino para formar el cigoto, siendo lo más importante de este fenómeno la fusión de los núcleos de los gametos, llamada **cariogamia**.

Sobre estas líneas, la palmera datilera es un ejemplo de planta dioica; hay individuos machos e individuos hembras.

• La **fecundación interna** tiene lugar en el interior del aparato reproductor femenino, al que llegan los gametos masculinos por medio del apareamiento, en los animales, o la polinización, en las plantas. Con ello, los organismos de vida terrestre evitan las pérdidas de material reproductor y el peligro de desecación de los gametos masculinos.

• La **fecundación externa** tiene lugar fuera del organismo materno. Los gametos son expulsados en grandes cantidades al medio externo, donde tienen que encontrarse, lo que ocurre tanto en los organismos acuáticos (protistas, invertebrados, peces y algunos anfibios) como en muchas plantas terrestres que encuentran en el agua de lluvia o en el rocío el vehículo a través del cual sus gametos nadarán hasta encontrarse.

Abajo, el caracol es hermafrodita, aunque la fecundación se realiza en este caso por copulación.

Escaneado con CamScanner

La conjugación es una forma de reproducción sexual exclusiva de los protozoarios ciliados. El macronúcleo degenera, así como tres de los cuatro micronúcleos resultantes de la meiosis.

Fecundación en los vegetales superiores

Mediante la **polinización** el polen es transportado desde los *estambres* hasta el *pistilo*. Al tomar contacto con el *estigma*, el grano de polen germina, es decir, se prolonga en un *tubo polínico* a través del cual emigran el núcleo vegetativo y el núcleo generativo, que se divide en dos núcleos con categoría de espermatozoides.

Al desarrollarse, el tubo polínico penetra a través del *estilo* hasta llegar al interior del ovario, penetrando en un óvulo hasta el *saco embrionario* donde se encuentra la oosfera. Uno de los núcleos espermáticos se fusiona con la oosfera para formar el verdadero cigoto del que se originará el *embrión* de la nueva planta; el otro se une con el núcleo secundario para formar el *endospermo* de la semilla, el cual está destinado a nutrir al embrión.

Fecundación en los animales

Los espermatozoides llegan en gran número hasta el óvulo, pero sólo uno de ellos consigue atravesar la membrana vitelina, lo que realiza segregando una enzima llamada *hialuronidasa*. Atravesada la membrana vitelina el núcleo espermático se dirige al centro del óvulo y se produce la cariogamia, con reunión de los cromosomas de ambos gametos, quedando constituido el cigoto, que pronto empieza su primera división para formar el nuevo individuo con un número diploide de cromosomas.

CONJUGACIÓN: DOS FECUNDACIONES IDÉNTICAS

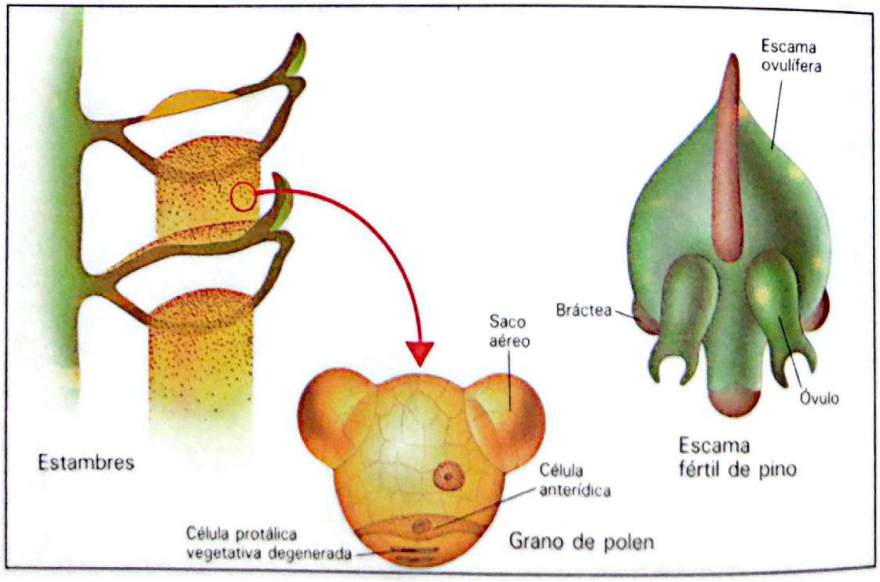
La conjugación es una forma de reproducción sexual atípica, exclusiva de los protozoos ciliados, que consiste en el intercambio de material nuclear entre dos individuos (*conjugantes*) que se oprimen mutuamente por sus superficies orales.

Dentro de cada individuo, el macronúcleo se desintegra y el micronúcleo entra en meiosis para formar cuatro núcleos hijos, tres de los cuales degeneran, quedando un solo núcleo haploide viable.

Dicho núcleo se divide una vez por mitosis y uno de los dos núcleos haploides idénticos permanece dentro de la célula, mientras que el otro penetra en el otro conjugante y se fusiona con el núcleo haploide que encuentra. De esta manera la conjugación produce dos fecundaciones idénticas y los dos nuevos núcleos diploides son duplicados exactos entre sí. Eso se traduce en la formación de dos nuevas células, gemelas entre sí, pero muy diferentes desde el punto de vista genético respecto a los progenitores, es decir, los conjugantes.

PARTENOGÉNESIS: DESARROLLO A PARTIR DE VÍRGENES

La partenogénesis es una variante de la reproducción sexual en la que el óvulo se desarrolla sin haber sido fecundado, hasta convertirse en un individuo adulto. Es muy común



Dderecha, grano de polen de pino. Sólo uno de los núcleos espermáticos fecundará la oosfera para originar el embrión.

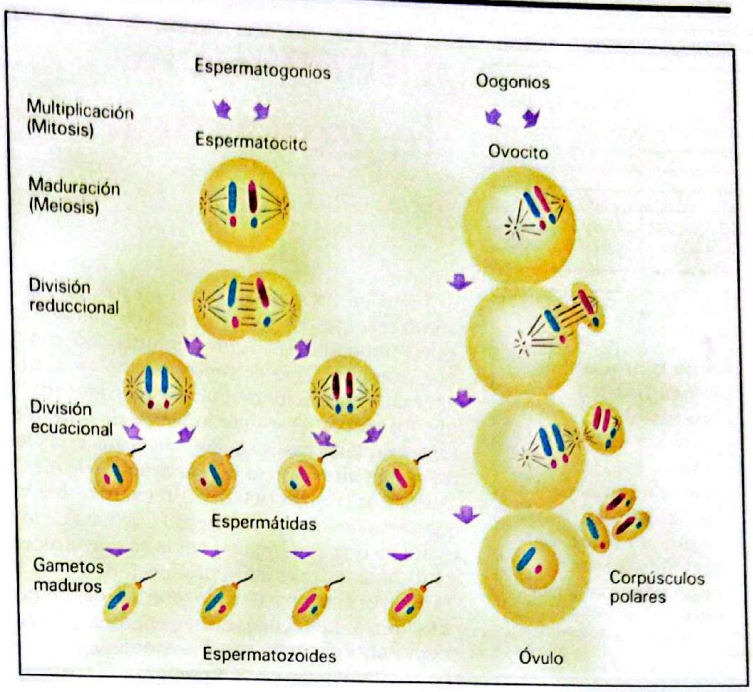
Escaneado con CamScanner

entre ciertos grupos de invertebrados (gasterópodos, crustáceos, insectos) y en algunos reptiles. Las lagartijas y ciertas especies de artrópodos constan exclusivamente de hembras (se desconoce la existencia de machos) que se reproducen partenogenéticamente; no obstante, lo más frecuente es que la partenogénesis ocurra durante varias generaciones, después de lo cual aparecen machos que se aparean con las hembras y fecundan sus óvulos. En ciertas especies la partenogénesis es muy importante para mantener la estructura social (abejas); en otras, según parece, es una simple adaptación para sobrevivir en tiempos de estrés o cuando hay un grave descenso del número de individuos en la población.

Según la dotación cromosómica del huevo partenogenético, se distinguen dos tipos de partenogénesis:

• **Partenogénesis haploide** o **arrenotoquia**. Durante la formación del óvulo se verifica la meiosis, por tanto posee una dotación cromosómica haploide y los gametos que origine el nuevo individuo (haploide) no experimentarán la meiosis al formarse, pues las células germinales ya son haploides. El desarrollo partenogenético de un óvulo haploide siempre origina individuos machos, pero si un óvulo haploide es fecundado da lugar a hembras (**partenogénesis facultativa**).

• **Partenogénesis diploide** o **telitoquia**. Los óvulos se forman sin meiosis, por tanto siguen siendo diploides y, al desarrollarse partenogenéticamente, dan lugar a hembras. Naturalmente, no pueden ser fecundados (**partenogénesis obligada**).



Formación de los espermatozoides y los óvulos en los animales pluricelulares.

EL CICLO BIOLÓGICO Y LA MEIOSIS

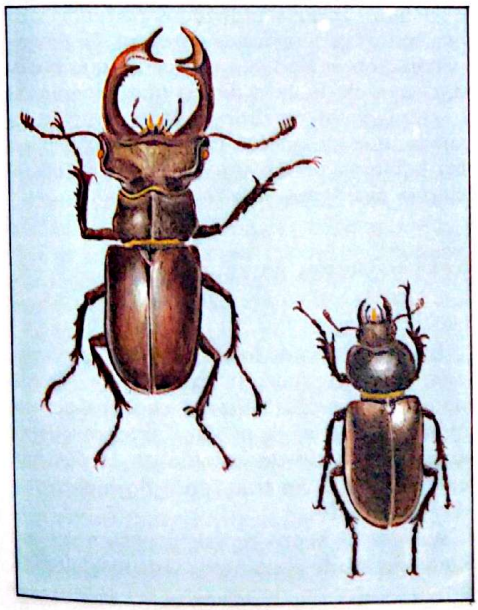
Según la posición de la meiosis en el ciclo biológico de las especies, se observan tres tipos de ciclos y de organismos.

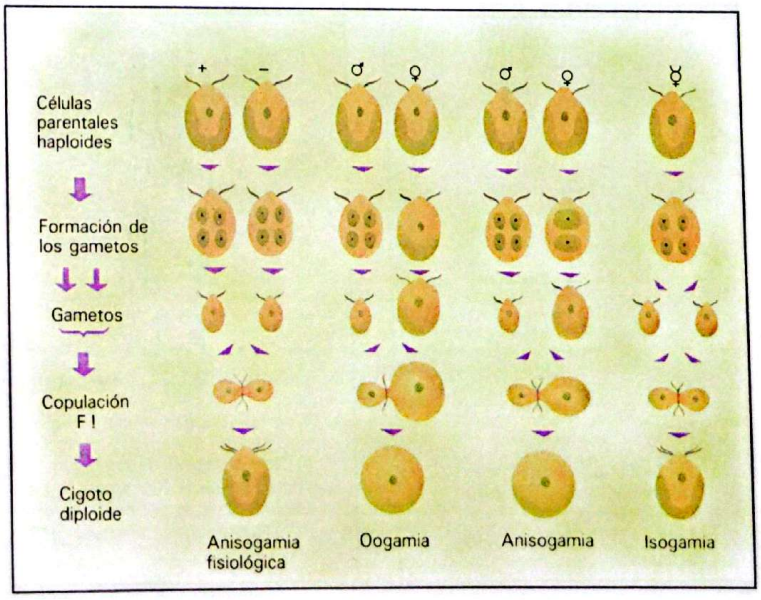
• **Ciclo haplonte**. La meiosis afecta al cigoto, por tanto el individuo resultante tendrá un número haploide de cromosomas. Los gametos de estos organismos no necesitan meiosis: el cigoto es la única célula diploide en todo el ciclo biológico.

• **Ciclo diplonte**. La meiosis se produce al formarse los gametos, que son las únicas células haploides del ciclo biológico. Los organismos diplontes son los más abundantes en la naturaleza.

• **Ciclo diplo-haplonte**. La meiosis se produce durante el proceso de formación de *esporas*, de forma que el ciclo biológico queda dividido en dos generaciones. El cigoto diploide origina un individuo también diploide (*esporofito*) que, en lugar de formar gametos, produce esporas haploides de las que nace un organismo haploide (*gametofito*) que es el que forma los gametos (haploides) que al fusionarse (uno de cada sexo) originarán el cigoto diploide. Son diplo-haplontes la mayoría de los vegetales.

Abajo, izquierda: ejemplo de dimorfismo sexual en el ciervo volador (la hembra es de tamaño inferior al del macho).
Bajo estas líneas, diferentes sistemas de formación de gametos y de reproducción sexual en los fitoflagelados del género *Chlamydomonas*.





Escaneado con CamScanner

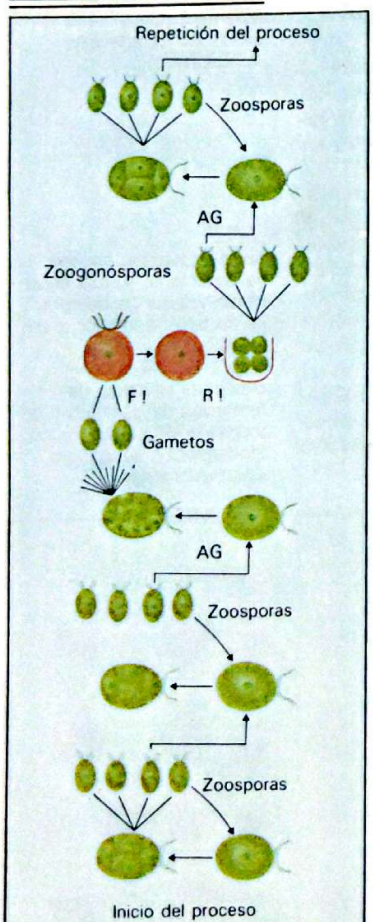
Alternancia de generaciones

32

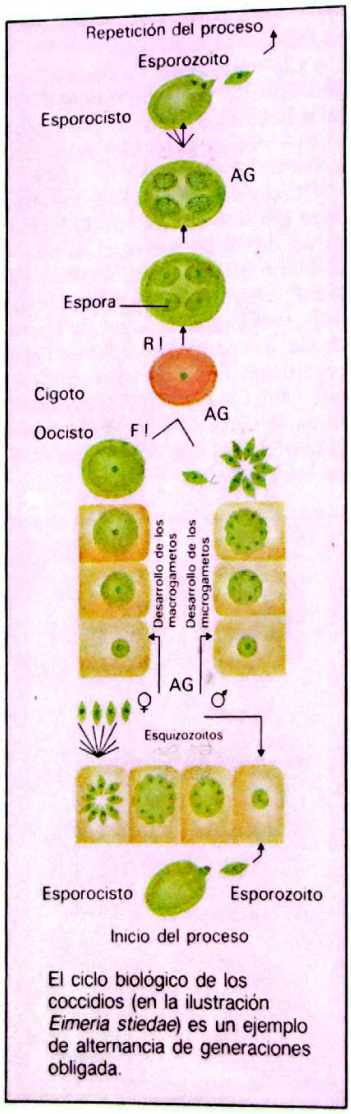
La reproducción sexual implica intercambio genético entre células reproductoras de los individuos, por lo que da lugar a variabilidad en la descendencia y por tanto a seres no idénticos a los progenitores.

Tanto en las plantas como en los animales son frecuentes las especies que combinan distintas modalidades reproductoras, de modo que resulta un tipo de reproducción en el que alternan generaciones que se reproducen de una forma con otras que lo hacen de otra diferente. En tales casos se dice que estas especies presentan **alternancia de generaciones**, o que existe una **reproducción alternante**, hecho que se puede interpretar como una adaptación evolutiva que combina las ventajas que ofrecen las distintas formas de reproducción.

Hay tres tipos básicos de alternancia de generaciones: metagénesis, heterogonia y alternancia antitética. Existen, sin embargo, muchas variantes de estos tipos básicos.



Los fitoflagelados del género *Chlamydomonas* constituyen un ejemplo típico de alternancia de generaciones facultativa.



El ciclo biológico de los coccidios (en la ilustración *Eimeria stiedae*) es un ejemplo de alternancia de generaciones obligada.

METAGÉNESIS

En la metagénesis, el ciclo reproductor en el cual generaciones sexuadas alternan con generaciones asexuadas que se multiplican por escisión o por gemación, como ocurre en tunicados, hidrozoos, anélidos y celentéreos, entre otros.

Un ejemplo muy ilustrativo es el que presentan los pólipos y medusas del grupo de los *escifozoos*, en particular la medusa del género *Aurelia*.

Los machos y las hembras de dichas medusas (formas sexuadas) vierten sus gametos en el mar, donde se produce la fecundación. Del cigoto nace una larva nadadora (*plánula*) que posteriormente se fija en el fondo y se convierte en un *pólipo*. Este pólipo a su vez se fragmenta en multitud de segmentos por *estrobilación* que acaban transformándose en nuevas medusas.

HETEROGONIA

Entre los invertebrados también es frecuente la heterogonia o alternancia de una generación sexuada con fecundación (o *anfigonia*) y una forma de reproducción regresiva, que generalmente es la *partenogénesis*, como ocurre en muchos pulgones y, de modo muy esclarecedor, en la filoxera (*Dactylosphaera vitifolii*).

De los huevos de filoxera fecundados en invierno nacen en primavera exclusivamente hembras ápteras que son productoras de agallas en las hojas de la vid. Es en las hojas, a las que perjudican, donde depositan los huevos que darán lugar a individuos partenogenéticos en tres generaciones sucesivas. La tercera generación es de hembras aladas que ponen dos tipos de huevos de los que nacerán las hembras y los machos de la generación sexuada, que es áptera. Tras el apareamiento, las hembras ponen un único huevo en invierno, cerrándose así el ciclo.

ALTERNANCIA ANTITÉTICA: LA NORMA ENTRE LOS VEGETALES

En la mayoría de los vegetales, una generación de reproducción asexual por esporas, llamada *esporofito*, alterna con una generación sexuada o *gametofito*, proceso que va acompañado de un cambio en la dotación cromosómica. Se trata pues de organismos diplo-haplontes.

• **Algas**. A veces, ambas generaciones son idénticas desde el punto de vista morfológico, como ocurre en ciertas algas del género *Cla-*

Escaneado con CamScanner

dophora, pero es más frecuente el heteromorfismo.

• **Briofitas**. Así como en las **algas** el esporofito y el gametofito suelen ser independientes y de vida libre, en las **briofitas** (musgos, hepáticas) el esporofito está reducido al *esporogonio* (portador de esporas) que se forma sobre el *arquegonio*.

• **Pteridofitas**. En las **pteridofitas** (helechos) el esporofito es el que alcanza un mayor desarrollo: es la planta que comúnmente llamamos helecho, con sus frondes característicos en cuyo envés se observan estas manchas prominentes de color pardo, los *soros*, en cuyo interior se encuentran los esporangios, receptáculos dentro de los cuales se forman las esporas. Éstas, al caer, germinan y forman un *protalo* (gametofito) poco desarrollado y portador de los gametangios, el cual dará lugar por reproducción sexual al típico helecho.

• **Plantas con semilla**. Gimnospermas y angiospermas se diferencian de los helechos por carecer de una generación gametofítica independiente; en ellas, la regresión del gametofito, la preponderancia del esporofito y la existencia de dos tipos de esporas alcanzan su máxima expresión.

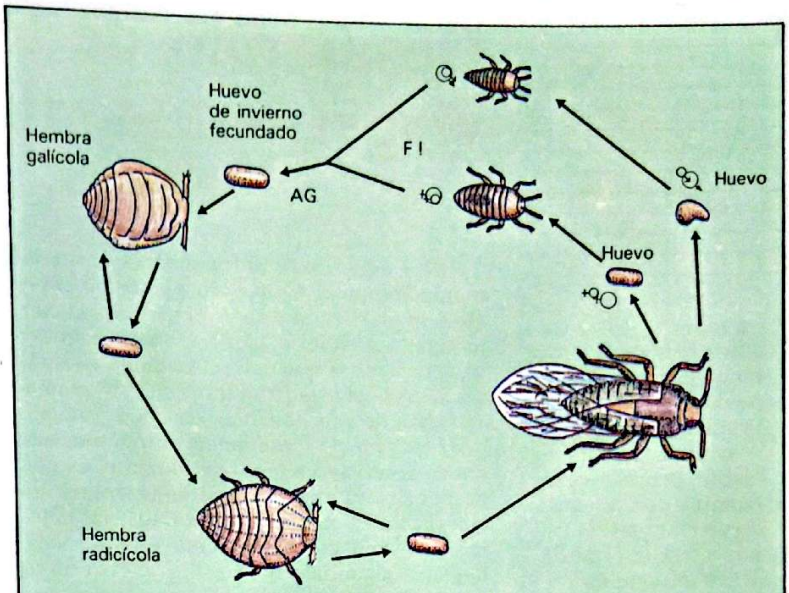
El esporofito es la única generación autónoma visible, ya que la efímera existencia de los gametofitos queda disimulada en el interior de las flores (conos en las gimnospermas), los órganos reproductores propios de estas plantas. El protalo masculino se reduce al desarrollo de una microspora (grano de *polen* formado en las *anteras*) que origina el *tubo polínico* y los *núcleos espermáticos* o gametos masculinos.

La macrospora o célula del *saco embrionario* que se origina en el interior del ovario tiene un desarrollo tan reducido que no pasa de una división nuclear, sin división citoplásmica, hasta ocho núcleos hijos, uno de los cuales, la *oosfera*, representa el gameto femenino.

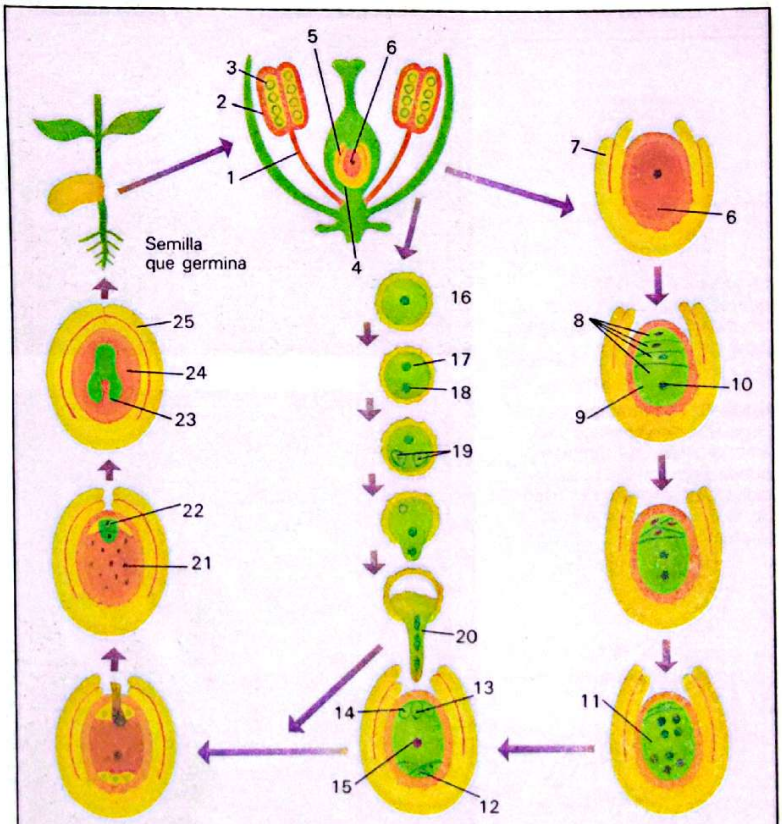
La independencia del medio acuático

El esporofito diploide de los helechos está bien adaptado para la vida terrestre; posee tejidos de conducción y sostén y, a diferencia de los musgos, es nutricionalmente independiente del gametofito. No obstante, la generación gametofítica sólo puede sobrevivir donde hay abundancia de humedad y sombra, y para la unión de los óvulos y espermatozoides se necesita un medio acuoso. Esa limitación ambiental, que a veces puede no producirse es compensada por los mecanismos de reproducción asexual que se observan en muchas especies de helechos.

El tubo polínico elimina la necesidad del agua y constituye un mecanismo para la unión directa de los gametos masculino y femenino; además, las semillas constituyen un excelente medio para la rápida y extensa diseminación de las plantas, siendo resistentes a la deshidratación y las temperaturas extremas. Ambas características han sido la causa, en gran medida, de la amplia distribución de las plantas con semilla como organismos terrestres.



La filoxera es un ejemplo esclarecedor de heterogonia o alternancia de una generación sexuada con fecundación y otra partenogenética.



En la alternancia de generaciones de las angiospermas, las flores pertenecen al esporofito, única generación autónoma visible. 1. Estambre; 2. Saco polínico; 3. Polen; 4. Carpelo; 5. Óvulo; 6. Célula madre del saco embrional; 7. Tegumento; 8. Macrósporas; 9. Célula del saco embrional; 10. Núcleo primario del saco embrional (haploide); 11. Saco embrional; 12. Antípodas; 13. Oosfera; 14. Sinérgidas; 15. Núcleo secundario del saco embrional (diploide); 16. Grano de polen; 17. Célula vegetativa; 18. Célula espermatogenética; 19. Núcleos espermáticos; 20. Tubo polínico; 21. Núcleo del albumen; 22. Proembrión; 23. Embrión; 24. Albumen; 25. Tegumento de la semilla.

Escaneado con CamScanner

Desarrollo de los seres vivos: ontogenia

33

A partir de la fecundación del óvulo empieza el proceso de desarrollo del cigoto, proceso que culmina con la formación del nuevo ser al final de la embriogénesis y luego continúa hasta que el individuo alcanza el estado adulto.

En los organismos pluricelulares de organización compleja, el programa genético contenido en el ADN empieza a desarrollarse en el momento en que se forma el cigoto o huevo, y puede decirse que culmina cuando el nuevo ser alcanza el estado adulto, es decir, cuando es capaz de reproducirse. De todo este proceso en general se ocupa la **ontogenia**, quedando reservado a la **embriología** el estudio de la primera etapa o **desarrollo embrionario** (hasta el nacimiento, en los animales; hasta la formación de la semilla, en los vegetales); la segunda etapa constituye el **desarrollo postembrionario**, que abarca desde el nacimiento del individuo hasta que éste alcanza el estado adulto. En los vegetales, éste período va desde la germinación de la semilla hasta que la planta puede reproducirse.

La judía es una semilla, que es el resultado de la fecundación. En la foto una judía germinada.

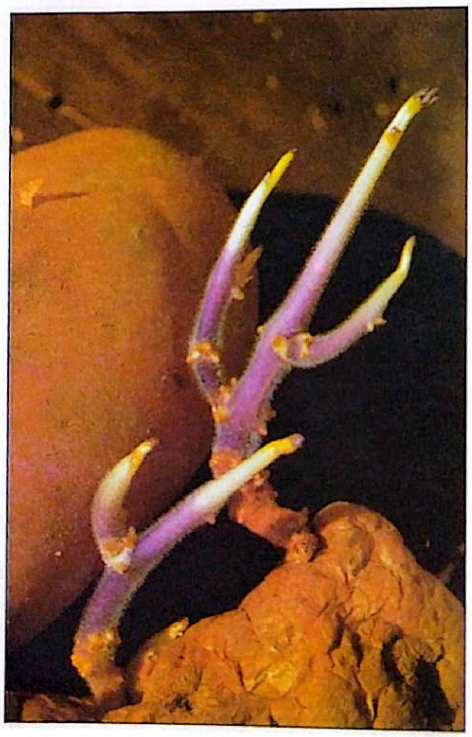
DISTINTOS PROCESOS DEL DESARROLLO

El desarrollo de los organismos implica cuatro tipos de procesos:

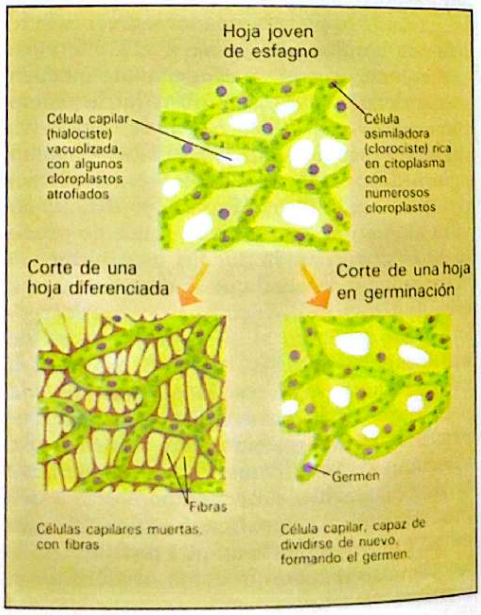
- **Crecimiento.** Es el aumento y regulación de la masa celular. Se trata de un proceso irreversible que generalmente implica **multiplicación celular** y **síntesis de proteínas.**
- **Diferenciación.** Es el proceso en virtud del cual las células se especializan, modificando su estructura a cambio de perder la capacidad de vivir de forma independiente.
- **Determinación.** La diferenciación implica determinación, es decir, la adjudicación de una función específica a células o grupos de células embrionarias antes de que se produzca su diferenciación.
- **Morfogénesis.** Es el proceso de creación de la forma del embrión, es decir, los cambios de desarrollo que conducen a la formación de un órgano o de una parte del cuerpo.

DESARROLLO EN LOS VEGETALES

El desarrollo de los vegetales presenta diferencias notables respecto de los animales: en los vegetales perduran grupos de células embrionarias (*meristemos*) que conservan la po-

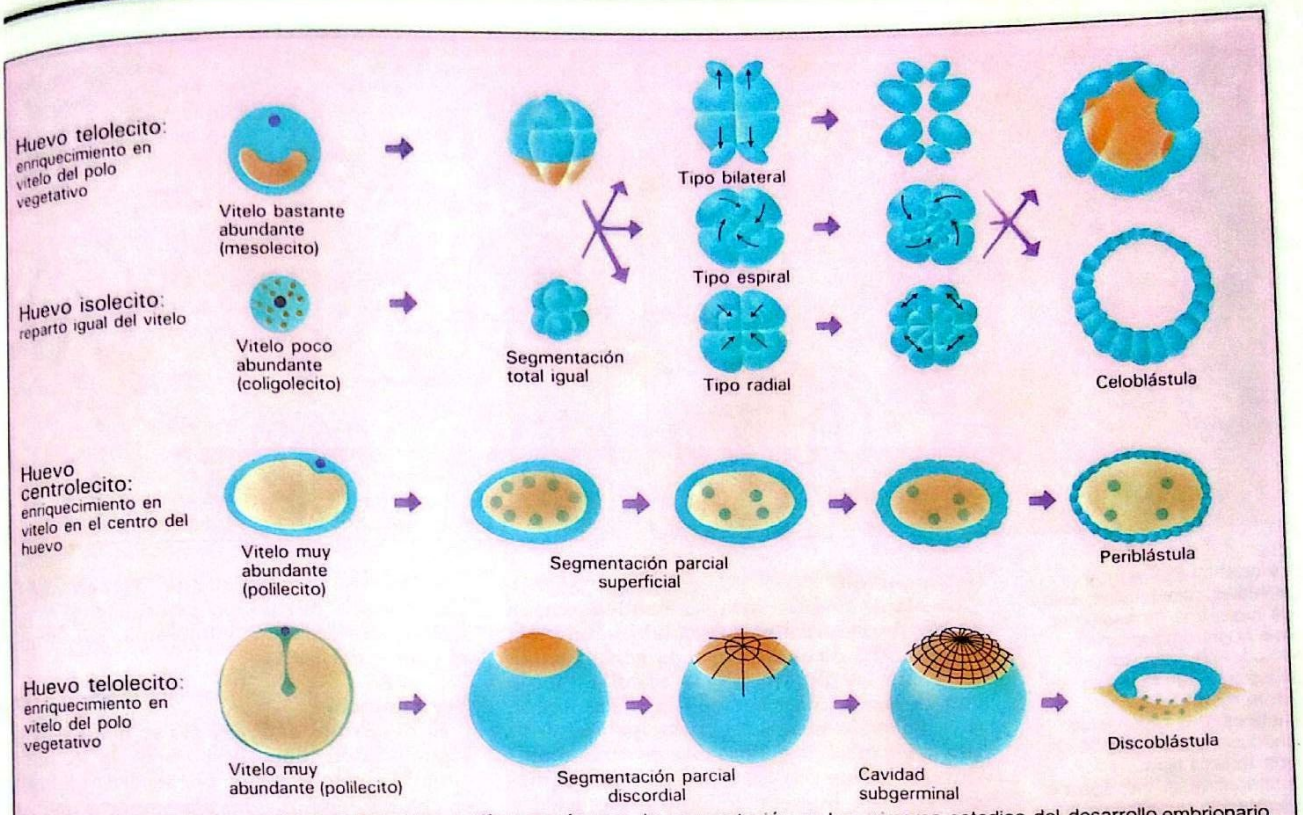


Izquierda, en muchos vegetales perduran células embrionarias que también pueden desarrollar nuevos individuos, como en el caso de la patata, tubérculo de la planta.



Derecha, diferenciación y desdiferenciación de células vegetales adultas.

Escaneado con CamScanner



Tipos de huevos en los animales pluricelulares y diferentes formas de segmentación en los primeros estadios del desarrollo embrionario.

tencialidad de las células indiferenciadas, de modo que el crecimiento no se reduce a las primeras etapas de la vida; además, su forma no es limitada, sino que presenta una notable plasticidad en función de estímulos o factores, tanto internos como externos.

El embrión

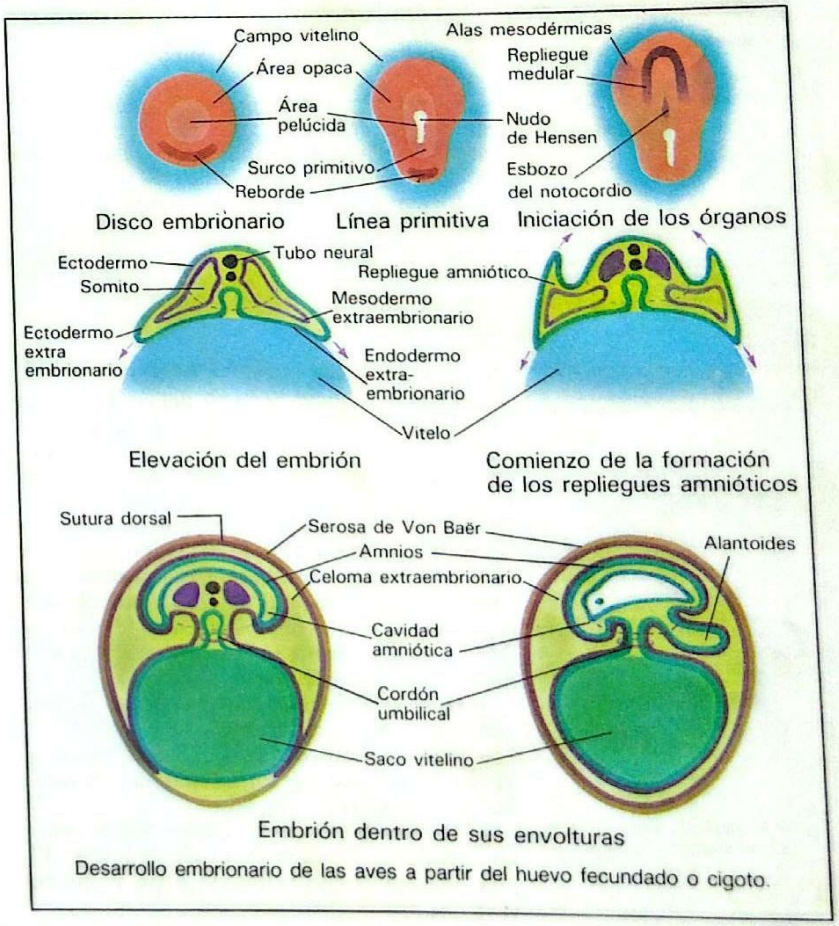
En las plantas con semilla, la fecundación da lugar al cigoto o huevo, a partir del cual empieza a formarse el embrión y, paralelamente, como resultado de la unión de uno de los dos núcleos espermáticos con el núcleo secundario de la oosfera, se desarrolla el *albumen* o *endospermo secundario*.

• El **embrión** propiamente dicho se desarrolla a partir de una de las dos células que se forman en la primera división del cigoto. La otra dará lugar al **suspensor del embrión**. El embrión sufrirá sucesivas divisiones, creando las masas celulares que irán diferenciándose para formar los *cotiledones*, la *gémula* y la *radícula*. Al quedar formada la semilla, el embrión queda rodeado por el albumen, que le servirá de alimento durante su desarrollo.

La semilla

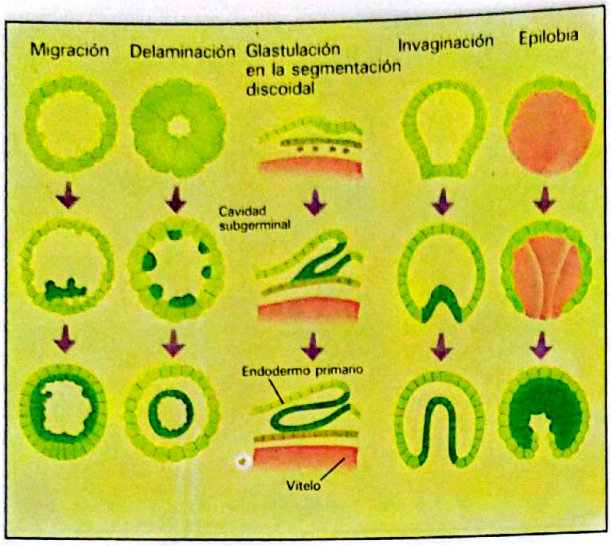
Una semilla típica consta de embrión, albumen y dos tegumentos, aunque estos últimos pueden faltar, como en el caso de las gramíneas, cuya semilla queda protegida por el propio pericarpio del fruto.

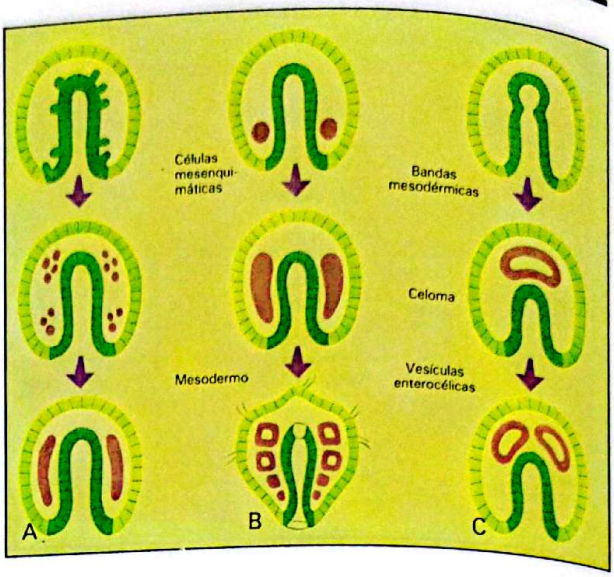
La semilla tiene una historia propia. El plan corporal fundamental de una planta está determinado antes de que la semilla abandone la planta progenitora.



Desarrollo embrionario de las aves a partir del huevo fecundado o cigoto.

Escaneado con CamScanner





La gastrulación en los animales celenterados sólo da lugar a la formación de dos hojas embrionarias: ectodermo y endodermo (ilustración de la izquierda). En el resto de los metazoos, la gastrulación conduce a la formación de una tercera hoja embrionaria: el mesodermo (ilustración de la derecha). A. Organización del mesénquima. B. Células iniciales del mesodermo. C. Repliegue del intestino primitivo.

Germinación

La planta embrionaria se mantiene en un estado de desarrollo suspendido o **latencia** que termina cuando ocurre la germinación. Conforme se desarrolla, la semilla pierde agua de sus tejidos; por ello la absorción de agua del suelo suele ser el principal requisito para la germinación. Pero existen otros requisitos que varían con las especies: unas requieren luz, otras humedecimiento prolongado y otras hasta fuego directo, requisitos todos ellos que tienen un sentido ecológico. Por ejemplo, una semilla que sólo germina tras un incendio, nace en un momento en el que la competencia de las plantas existentes se encuentra muy reducida por efecto del fuego.

La primera estructura de la **plántula** que emerge de la semilla es la raíz. Las primeras áreas de división celular en la plántula son precisamente los meristemos de la raíz y los meristemos apicales (de la punta de los tallos).

LOS ANIMALES: DESARROLLO EMBRIONARIO

Tipos de huevos

El cigoto o huevo, a partir del cual se inicia el desarrollo del nuevo ser, generalmente consta de dos partes: el verdadero citoplasma, que dará lugar al embrión, y el vitelo nutritivo, que puede variar en cantidad y distribución. En los organismos que poseen gran cantidad de vitelo, el polo del cigoto que contiene la mayor cantidad de esa sustancia se denomina *polo vegetal*, mientras que el polo opuesto, en el que hay mayor actividad metabólica, es el *polo animal*. Se distinguen cuatro tipos fundamentales de huevos:

- **Huevos isolecitos**. Tienen escaso vitelo y uniformemente distribuido.
- **Huevos heterolecitos**. Tienen bastante vitelo y distribuido de forma desigual, acumulándose en el polo vegetal.
- **Huevos telolecitos**. Tienen vitelo muy abundante, que ocupa casi todo el huevo. El polo animal queda reducido a un pequeño casquete.
- **Huevos centrolecitos**. Tienen abundante vitelo distribuido centralmente y rodeando al verdadero citoplasma, que ocupa el centro del huevo.

Segmentación

El desarrollo embrionario se inicia con la segmentación, poco después de la fecundación. El cigoto se divide por sucesivas mitosis en células denominadas **blastómeros** que, en el caso de que la segmentación sea total, forman una masa esférica llamada **mórula**. Los blastómeros se van formando en la periferia dejando un hueco interior, el **blastocele**, que queda rodeado del **blastodermo** para formar el estado de **blástula**.

En los huevos telolecitos, la segmentación es parcial y discoidal, de modo que sólo se segmenta el polo animal; en los centrolecitos, en cambio, es parcial pero superficial, no formándose cavidad interna alguna.

El diseño básico del adulto: gastrulación

La blástula emprende un proceso, en el caso típico de los huevos de segmentación total e igual, de invaginación, acompañada de una reducción del blastocele y la formación de las tres *hojas embrionarias* que constituyen las primeras áreas diferenciadas del embrión animal y originarán los órganos y tejidos concretos del organismo adulto.

En los celenterados, la gastrulación no pasa de la formación de dos hojas embrionarias, el **ectodermo** y el **endodermo**; pero en el resto de los animales se forma una tercera hoja entre las dos anteriores, el **mesodermo**, en el seno de la cual aparece una cavidad que recibe el nombre de **celoma**.

El destino de las hojas embrionarias: organogénesis

La formación de los diversos órganos a partir de las hojas embrionarias constituye lo que se llama organogénesis.

- Del **ectodermo** derivará la epidermis y demás órganos anejos (pelos, glándulas sudoríparas, etc.) y también el sistema nervioso central.
- Del **endodermo** derivará el tubo diges-

Escaneado con CamScanner

tivo y diversos revestimientos internos (de los pulmones, etc.).

• Del **mesodermo** derivará el tejido conjuntivo, el sistema muscular, las gónadas, los aparatos circulatorio y excretor, y el esqueleto de los cordados.

DESARROLLO POSTEMBRIONARIO

La diferenciación de tejidos y órganos prosigue después del nacimiento hasta que el animal alcanza la madurez o estado adulto.

Desarrollo directo

Muchos animales, tras un largo período embrionario, durante el cual se han nutrido de numerosas reservas almacenadas en el huevo o procedentes de la madre, nacen ya con un aspecto semejante al del adulto, de modo que es desarrollo postembrionario se reduce prácticamente al crecimiento y diferenciación sexual. Se dice que estos animales tienen un desarrollo directo, como en el caso de los mamíferos, los reptiles, las aves y algunos grupos de insectos.

Desarrollo indirecto

Si, al nacer, el individuo tiene un aspecto diferente al del adulto, recibe el nombre genérico de **larva** y se dice que tiene un desarrollo indirecto, pues para alcanzar el nivel de organización del adulto ha de sufrir previamente una serie de transformaciones más o menos complejas que recibe el nombre de **metamorfosis**.

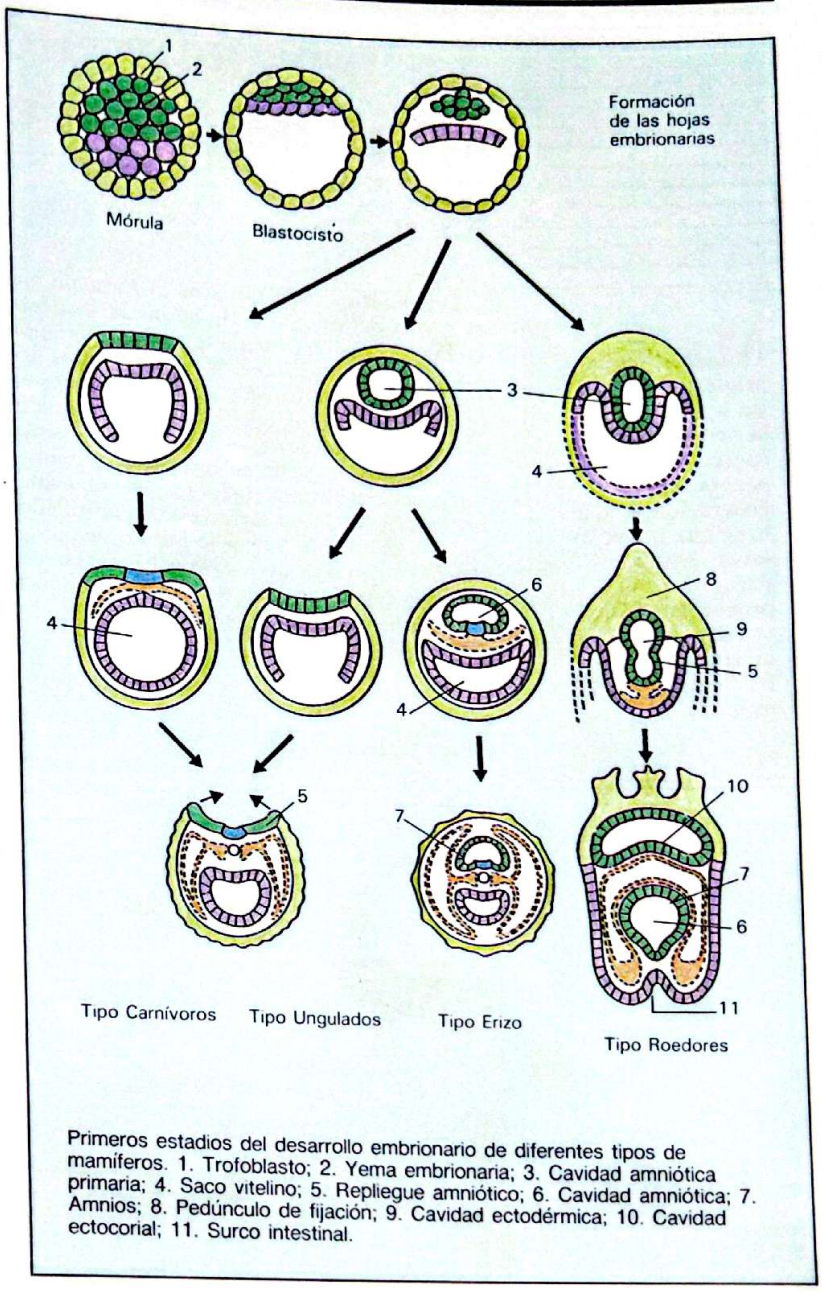
Las larvas son en realidad formas embrionarias, pero de vida libre, que tienen que buscarse en el exterior el alimento necesario para completar su desarrollo, ya que las reservas del huevo han sido insuficientes a tal fin.

• **Metamorfosis sencilla**. La larva de los organismos de metamorfosis sencilla, denominados **hemimetábolos**, se parece bastante al adulto y no pasa por períodos de inactividad para completar su desarrollo, es decir, no deja de alimentarse mientras dura éste. Es el caso de muchos anfibios y equinodermos, así como de ciertos insectos hemípteros (chinches) y ortópteros (langostas).

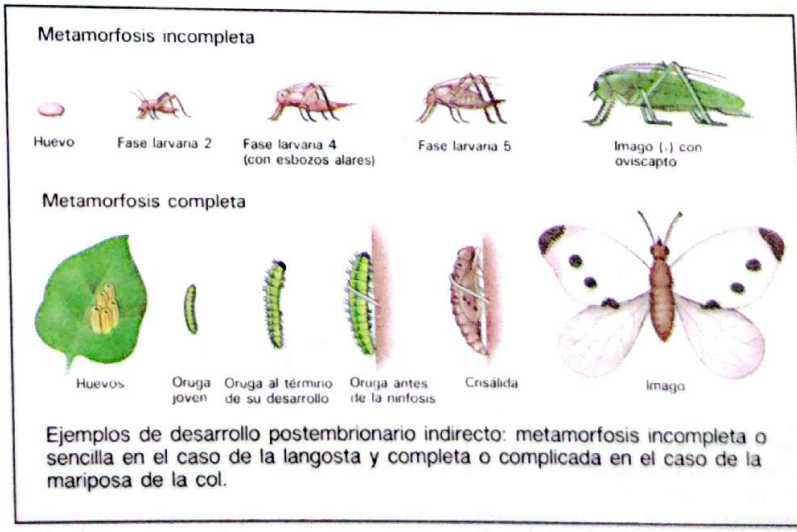
• **Metamorfosis complicada**. Los organismos de metamorfosis complicada, denominados **holometábolos**, nacen con un aspecto muy diferente del animal adulto (por ejemplo, la oruga de las mariposas) y tienen que pasar por un período de inactividad externa durante el cual la larva se protege dentro de una especie de caparazón (**pupa**) dentro del cual sufrirá una desorganización y reconstrucción de sus tejidos y órganos que culminará con la formación del animal adulto.

Es el caso de muchos insectos como los coleópteros, dípteros, himenópteros y lepidópteros.

• **Paidogénesis**. Algunos organismos, en particular ciertas especies de dípteros, presentan individuos con caracteres larvarios que tienen capacidad para reproducirse partenogenéticamente. Este fenómeno recibe el nombre de paidogénesis.



Primeros estadios del desarrollo embrionario de diferentes tipos de mamíferos. 1. Trofoblasto; 2. Yema embrionaria; 3. Cavidad amniótica primaria; 4. Saco vitelino; 5. Repliegue amniótico; 6. Cavidad amniótica; 7. Amnios; 8. Pedúnculo de fijación; 9. Cavidad ectodérmica; 10. Cavidad ectocorial; 11. Surco intestinal.



Ejemplos de desarrollo postembrionario indirecto: metamorfosis incompleta o sencilla en el caso de la langosta y completa o complicada en el caso de la mariposa de la col.

Escaneado con CamScanner

La herencia biológica: leyes de Mendel

34

Mendel fue el primero que estudió las leyes que rigen la herencia de los caracteres de generación en generación, lo que hace que todos los seres vivos se parezcan a sus progenitores en el terreno morfológico, fisiológico y hasta psíquico.

La **Genética** es la rama de la Biología que se ocupa del estudio de la herencia, es decir, de la transmisión de caracteres de generación en generación, lo que hace que todos los seres vivos se parezcan a sus progenitores en el terreno morfológico, fisiológico y psíquico.

Los conceptos, leyes y teorías de la Genética suelen referirse, si no se especifica lo contrario, a los organismos diplontes, en los cuales los caracteres hereditarios están controlados por dos genes, o lo que es lo mismo un par de alelos. La genética de los organismos haplontes, cuyo desarrollo es muy reciente, se conoce como **genética bacteriana**.

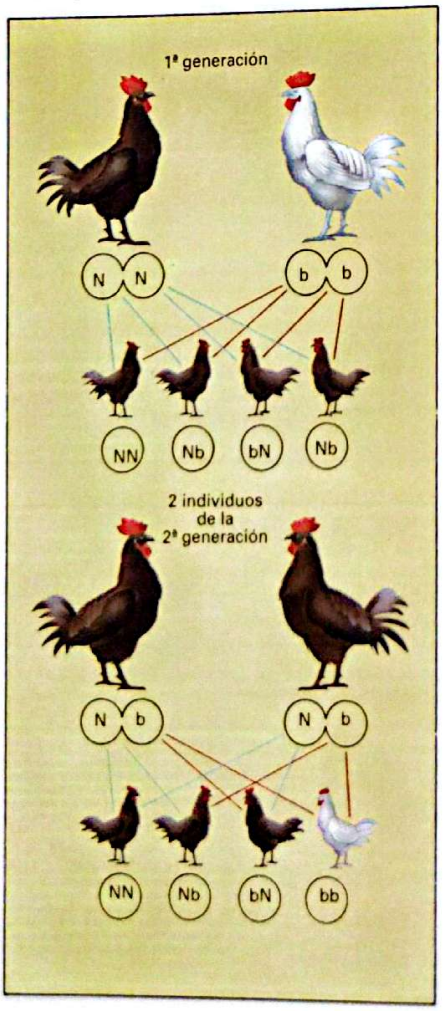
LOS GENES: FENOTIPO Y GENOTIPO

Genes y alelos

Un gen, a la luz de los conocimientos actuales, se puede definir como una secuencia de nucleótidos de una molécula de ADN, que es capaz de dar un mensaje genético para la codificación de una cadena polipeptídica o de una proteína.

Los genes existen en pares en las células de los individuos, mientras que los gametos sólo tienen un gen de cada tipo, y cada par de genes del mismo tipo rige un carácter hereditario determinado. A este par de genes se le llama **par de alelos** o simplemente **alelos** o **alelomorfos**. Un par de alelos está compuesto por el gen paterno y el gen materno de dos **cromosomas homólogos**.

Dentro de cada cromosoma hay muchos genes diferentes, y cada cromosoma se comporta genéticamente como si estuviera formado por una serie de genes dispuestos en forma lineal. Los miembros de un par de cromosomas homólogos tienen genes similares dispuestos en el mismo orden. El gen de cada carácter ocupa un punto determinado del cromosoma, denominado **locus** (plural *loci*).



Ejemplo de herencia dominante: en los individuos heterocigóticos sólo se expresa el alelo dominante.

Homocigosis y heterocigosis

El par de alelos que rige un determinado carácter se simboliza con una pareja de letras iguales (una representa el gen paterno y la otra el materno), aunque cada uno de ellos puede hacerlo con una característica diferente: por ejemplo, uno puede regir el color pardo de los ojos y el otro el color azul. También puede ocurrir que ambos alelos determinen el mismo color: o el pardo o el azul.

Cuando la pareja de alelos está formada por dos genes idénticos, y que por tanto se manifiestan de la misma manera (por ejemplo, el color pardo de los ojos), se dice que el individuo es **homocigótico** para este carácter (para el color de los ojos); mientras que si en la herencia se comportan como antagónicos (uno determina el color pardo y el otro el color azul), se dice que el individuo es **heterocigótico** (o también *híbrido*) para dicho carácter. La homocigosis se representa con ambas letras mayúsculas o minúsculas; la heterocigosis, con una mayúscula y otra minúscula.

Alelos dominantes y recesivos

En la heterocigosis, el miembro de un par de alelos que se expresa es el dominante, mientras el otro, que sólo se expresaría en condiciones de homocigosis, es el recesivo. En el caso de **herencia dominante**, las letras mayúsculas representan los genes dominantes y las minúsculas los recesivos.

Pero en la heterocigosis también puede ocurrir que los genes de un mismo par tengan la misma potencia para determinar el carácter que rigen, de modo que éste será el resultado de la interacción de ambos alelos. En este caso se habla de **herencia intermedia**.

Escaneado con CamScanner

Fenotipo y genotipo

El aspecto –morfológico, fisiológico, bioquímico y hasta psicológico– de un individuo en cuanto a un determinado carácter hereditario, en un ambiente determinado, se conoce como **fenotipo**; mientras que la constitución genética de ese mismo individuo, para ese mismo carácter, se denomina **genotipo**. También se utilizan ambos términos referidos al aspecto y a la constitución genética en forma global, respectivamente.

El fenotipo, pues, es la manera de manifestarse el genotipo; manera que depende de las relaciones de dominancia y de la acción del medio ambiente.

LEYES DE MENDEL

Para llevar a cabo sus experimentos sobre la transmisión hereditaria, Mendel partió de individuos homocigóticos para el carácter objeto de estudio. Los descendientes del cruzamiento de la generación paterna serán heterocigóticos, o híbridos, para dicho carácter y constituyen la primera generación filial, simbolizada por $\mathbf{F_1}$. Al cruzar entre sí estos híbridos, se obtiene la segunda generación filial o $\mathbf{F_2}$. De los resultados de las observaciones de Mendel se deducen tres reglas fundamentales que se han denominado *leyes de Mendel.*

Ley de la uniformidad de los híbridos de la primera generación

Del cruzamiento entre dos individuos de dos variedades puras resulta una generación filial F_1 de híbridos todos iguales.

Esta uniformidad de los individuos de la primera generación filial es el resultado o bien de la herencia dominante (en cuyo caso todos los híbridos se parecen a uno de los progenitores) o bien de la herencia intermedia (los híbridos tienen un aspecto intermedio entre los dos progenitores). Otra posibilidad, denominada *codominancia*, en el caso de que en el híbrido se manifiesten ambos caracteres a la vez, el paterno y el materno.

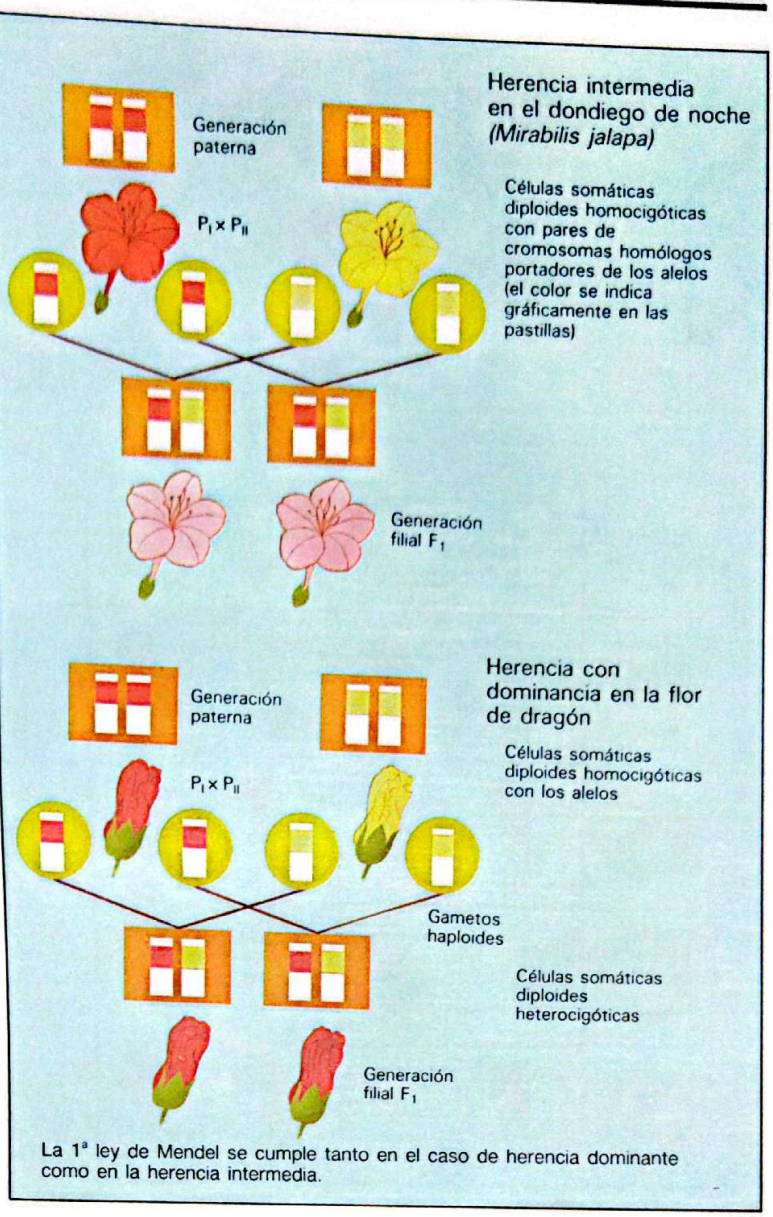
Ley de la segregación de los genes de un par de alelos

Los dos genes que rigen cada carácter no se mezclan ni fusionan, sino que se segregan (separan) a la hora de formarse los gametos, teniendo cada gameto uno y sólo uno de los alelos diferentes.

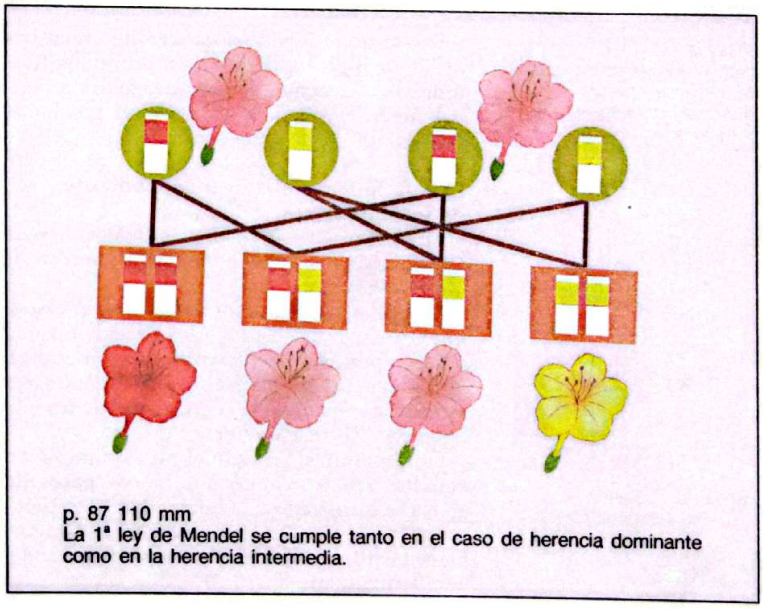
Mendel llegó a esta conclusión cruzando entre sí a los individuos de la primera generación filial, comprobando que en los individuos de la F_2 aparecen pares de alelos distintos de los de la F_1, con lo que su genotipo ya no es uniforme como resultado de las distintas combinaciones posibles de los genes.

En cuanto al fenotipo, según se trate de herencia dominante o de herencia intermedia, las proporciones resultantes son 3:1, en el primer caso, o bien 1:2:1 en el segundo.

En la práctica, para averiguar el genotipo en un caso de dominancia se puede recurrir a lo que se llama **retrocruzamiento**, es decir, el cruzamiento del individuo del cual se quiere saber si es homocigótico o heterocigó-

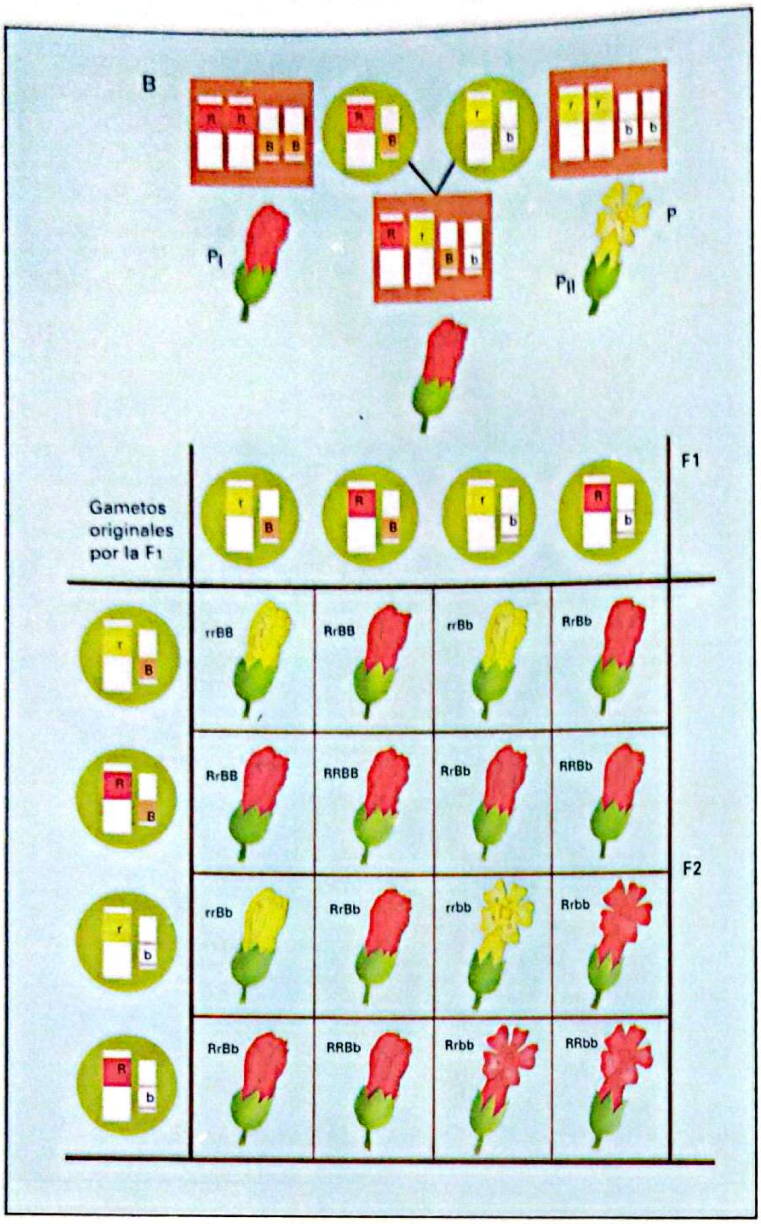


La 1ª ley de Mendel se cumple tanto en el caso de herencia dominante como en la herencia intermedia.



p. 87 110 mm
La 1ª ley de Mendel se cumple tanto en el caso de herencia dominante como en la herencia intermedia.

Escaneado con CamScanner



3ª ley de Mendel: transmisión independiente de los genes para diferentes caracteres herditarios.

tico con un individuo homocigótico recesivo. Si el primer individuo era homocigótico, todos los descendientes serán iguales a él; si era heterocigótico, la proporción resultante será 1:1 (50% de cada aspecto).

Ley de la transmisión independiente de los caracteres

Los genes para diferentes caracteres hereditarios se transmiten a la descendencia de forma independiente.

Mendel sacó esta conclusión tras el cruzamiento entre dihíbridos (dos variedades que difieren por dos caracteres al mismo tiempo): la segregación de los alelos para un carácter es independiente de la segregación de los alelos para el otro carácter.

La tercera ley de Mendel no se cumple en aquellos casos en que dos o más pares de genes se localizan en el mismo par de cromosomas, ya que entonces se transmiten ligados, no pudiendo separarse ni recombinarse independientemente.

Entrecruzamiento cromosómico: intercambio de genes

En la práctica, la tercera ley de Mendel se cumple con mucha más frecuencia de lo que cabría esperar como consecuencia de la asociación de los genes. Si las unidades cromosómicas jamás cambiaran, los genes de cualquiera de los cromosomas siempre se heredarían en conjunto.

Sin embargo, durante la meiosis, cuando los cromosomas se aparean y forman sinapsis, ocurren los fenómenos de entrecruzamiento y recombinación. Durante todo ese proceso, los cromosomas homólogos intercambian, al azar, segmentos enteros de material cromosómico a lo largo del cromosoma.

Hay la posibilidad de que ocurran varios intercambios en diferentes puntos del mismo cromosoma durante una sola división meiótica. Cuanto más grande es la distancia entre dos genes del mismo cromosoma, mayores son las probabilidades de que lleguen a segregarse por entrecruzamiento.

LA HERENCIA DEL SEXO

La mayoría de los animales (y los humanos) poseen un par de **cromosomas sexuales**, que en las hembras son iguales (XX) y en los machos diferentes (XY); los restantes pares de cromosomas homólogos son idénticos en el macho y en la hembra, y reciben el nombre de **autosomas**. Por tanto, mientras las hembras producen por meiosis todos los gametos con un cromosoma X, los machos producen dos tipos de espermatozoides, unos con el cromosoma X (que al fecundar el óvulo originarán individuos de sexo femenino) y otros con el Y (que engendrarán machos).

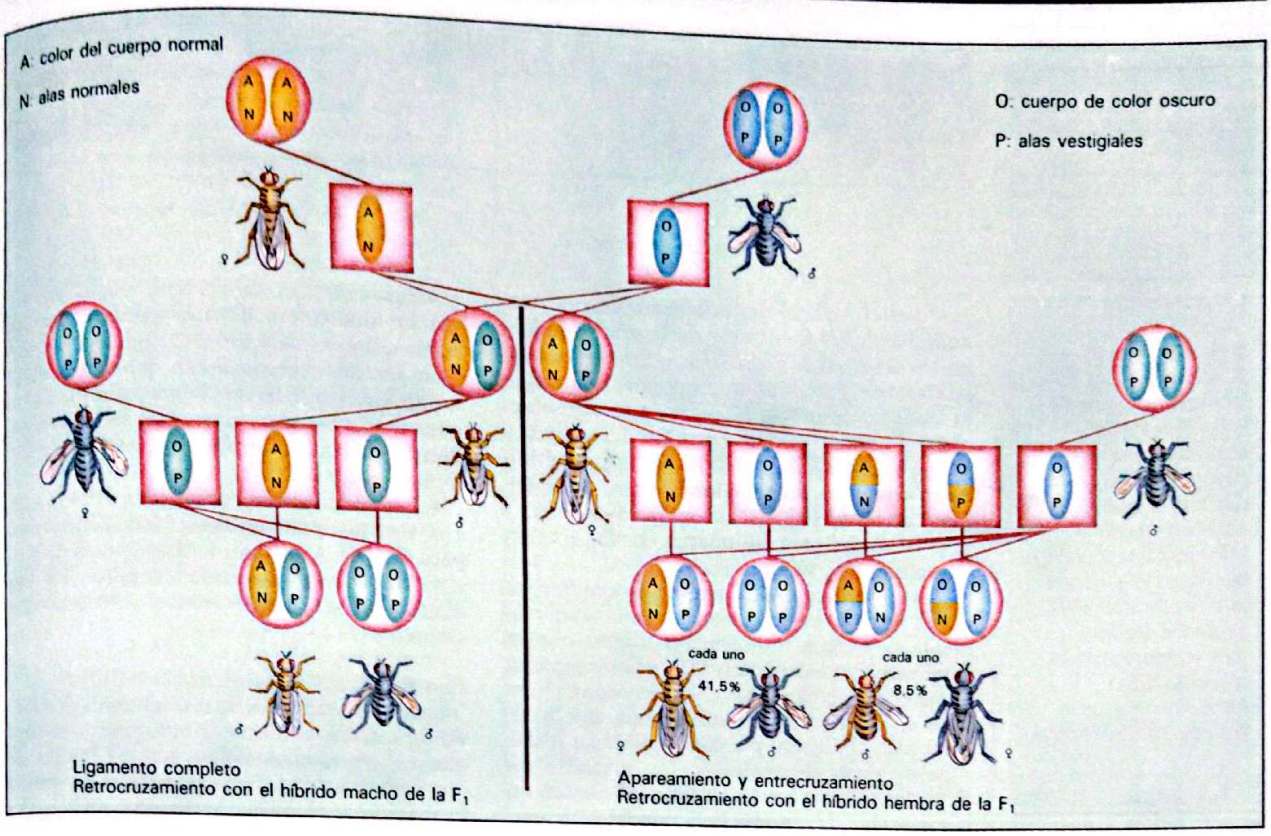
Hay, no obstante, muchos tipos de excepciones a esta norma. En algunos insectos, las hembras son XX y los machos sólo tienen un cromosoma X (son X0). En abejas y hormigas el sexo no viene determinado por un par de cromosomas sexuales: los machos son haploides (nacidos de huevos no fecundados) y las hembras diploides. Y a veces el sexo viene determinado por factores ambientales, alimenticios o fisiológicos.

Herencia ligada al sexo

Los rasgos controlados por los genes localizados en el cromosoma sexual X (como, por ejemplo, la hemofilia en el hombre) se conocen como **caracteres ligados al sexo**, debido a que su herencia está vinculada a la herencia del sexo de la descendencia.

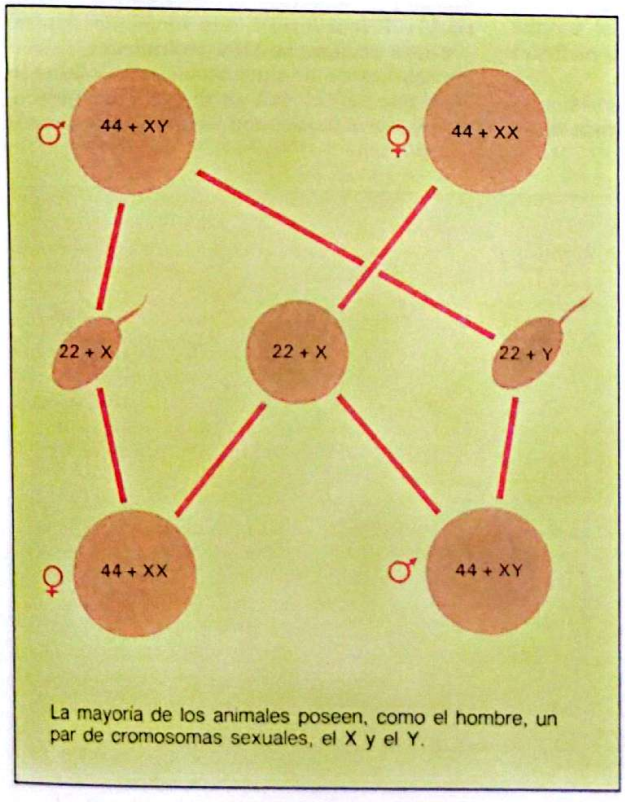
El fenómeno de ligamiento al sexo se relaciona exclusivamente con el cromosoma X (el cromosoma Y desempeña un papel poco importante en la herencia, a excepción del sexo). En casi todos los genes ligados al sexo, el alelo dominante produce el rasgo normal y el recesivo la condición anormal; por tanto, en la hembra deben estar presentes dos alelos recesivos ligados al sexo para que se exprese el carácter anormal, pero en el macho basta con la presencia de un alelo recesivo para que aparezca dicha condición.

Escaneado con CamScanner

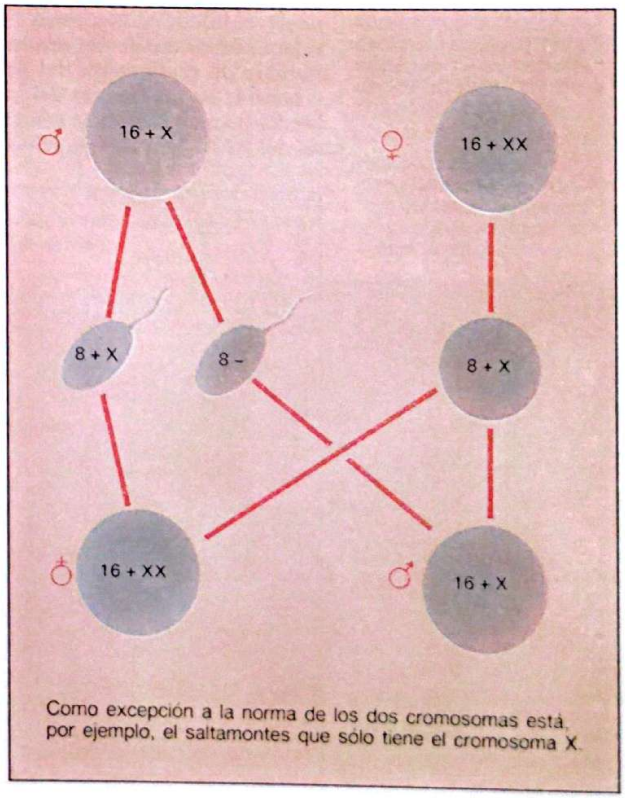


Ligamiento y retrocruzamiento cromosómico de los genes que determinan el color del cuerpo y la forma de las alas en la mosca del vinagre *(Drosophila melanogaster)*.

El resultado práctico es que las hembras funcionan como portadoras de tales caracteres, mientras que éstos sólo se manifiestan en los descendientes masculinos: los machos reciben su cromosoma X de la madre, nunca del padre. Para que se manifieste en la hembra, un carácter recesivo ligado al sexo debe estar presente en ambos cromosomas X, es decir, que el rasgo debe ser heredado por ambos progenitores. No ocurre así para el macho: por ejemplo, para que un niño sea daltónico basta con que la madre sea heterocigótica para este carácter; el padre puede ser normal.



La mayoría de los animales poseen, como el hombre, un par de cromosomas sexuales, el X y el Y.



Como excepción a la norma de los dos cromosomas está, por ejemplo, el saltamontes que sólo tiene el cromosoma X.

Escaneado con CamScanner

Síntesis del ADN y del ARN

35

El fenómeno de la reproducción de los seres vivos empezó a ser más comprendido al descubrir que el ADN contiene la información hereditaria y dirige la síntesis del ARN, es decir, de la transcripción de la información hereditaria de un tipo de código a otro.

Al ser el ADN el material hereditario, para comprender el fenómeno de la reproducción en los seres vivos es necesario conocer cómo se sintetiza y se duplica. El dogma central de la Biología se puede resumir en lo siguiente: el ADN contiene la información hereditaria y dirige la síntesis del ARN. El **código genético** es el conjunto de relaciones entre cada triplete de bases del ARN mensajero (ARNm) y el correspondiente aminoácido de la proteína específica que se sintetiza.

Ciertos virus de ARN son los únicos herejes en el terreno de la genética molecular: mediante la enzima transcriptasa inversa copian su secuencia (de ARN) en ADN y la incorporan al material genético de la célula huésped. Otros virus de ARN que infectan bacterias, con la enzima ARN-replicasa, pueden replicar su ARN.

Salvo estas excepciones, los mecanismos de síntesis de los ácidos nucleicos se basan en la capacidad de autoduplicación del ADN y en la transcripción o formación del ARN.

LA AUTODUPLICACIÓN DEL ADN

Replicación

En cada generación celular tiene lugar el proceso de duplicación o síntesis del ADN, proceso que, considerado en su totalidad, desde el inicio de la síntesis hasta el acoplamiento de las moléculas resultantes, recibe el nombre de **replicación del ADN**.

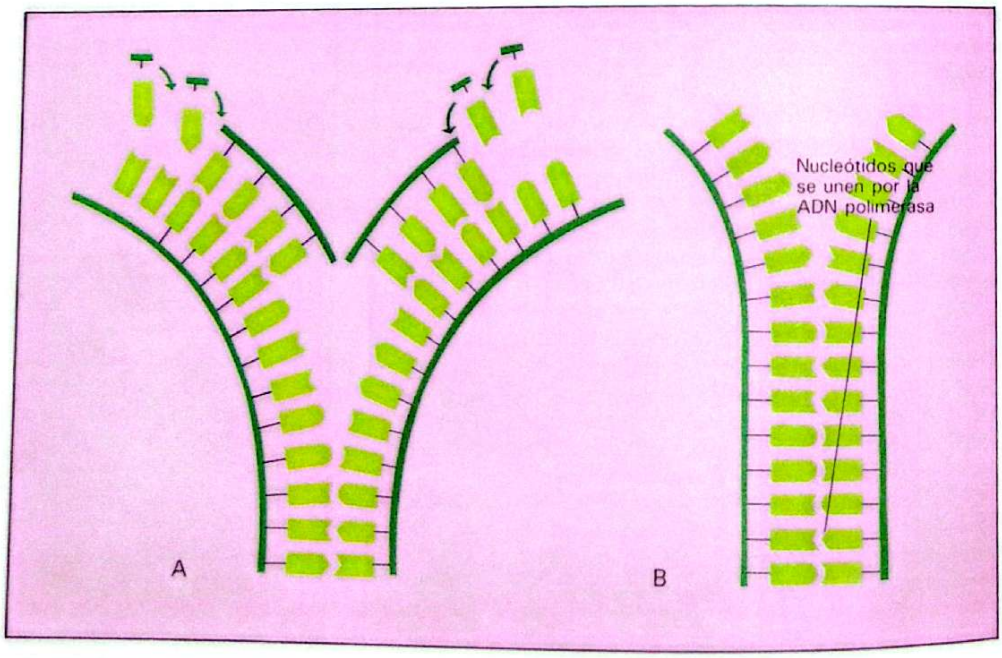
Las tres **reglas básicas** del proceso –siendo las dos primeras también válidas para la síntesis del ARN– son las siguientes:

- Las cadenas de ADN se sintetizan copiando una hebra de ADN preexistente que actúa como *molde*. En el caso del ADN se copian las dos hebras de la doble hélice, de modo que resultan dos hélices dobles. La secuencia de bases de las nuevas cadenas no es idéntica, sino complementaria de la del molde.
- Las enzimas que copian los ácidos nucleicos son las **polimerasas** (*ADN-polimerasas* para el ADN; ARN-polimerasas para el ARN).
- Las ADN-polimerasas necesitan un **iniciador** sobre el cual puedan adicionar nucleótidos.

Una duplicación semiconservadora

La síntesis del ADN se realiza antes de la división celular, durante la interfase, y se dice que es semiconservadora por el hecho de que cada una de las dobles hélices de nueva formación está constituida por una hebra preexistente y una de nueva síntesis.

- El proceso se inicia con el **desarrollamiento** de la doble hélice molecular de ADN y posterior separación de sus dos mitades o hebras por ruptura de los puentes de hidrógeno que mantenían unidas las bases púricas y pirimídicas.
- Cada una de estas hebras actúa como **molde** para sintetizar la hebra complementaria y volver a formar una molécula dúplex.
- Una enzima, la **ADN-polimerasa**, se responsabiliza de ir uniendo los nucleótidos libres, que se colocan en el lugar correspondiente de acuerdo con la base nitrogenada que poseen.



Esquema de la autoduplicación del ADN: los símbolos geométricos representan las bases nitrogenadas; la cadena ácido fosfórico-pentosa está simplificada con una simple raya.

Escaneado con CamScanner

Reparación de desperfectos

El ADN, como se ha visto, se transmite idéntico de generación en generación gracias a su capacidad de autoduplicación, característica que se ve reforzada por lo que se ha denominado los **mecanismos de reparación del ADN** que actúan en caso de desgaste de estas biomoléculas con el paso del tiempo, o bien en el caso de que agentes externos logren desperfectos en las mismas.

La enzima **endonucleasa** se responsabiliza de la reparación de desperfectos, reconociendo los puntos débiles y abriendo la doble hélice en dichos puntos para que, tras ella, pueda entrar en acción la ADN-polimerasa que sustituirá los nucleótidos dañados por otros nuevos.

SÍNTESIS DEL ARN: TRANSCRIPCIÓN

El ARN, en general, no es una doble hélice como el ADN, sino que se trata de cadenas únicas, y sus moléculas no están ramificadas. La síntesis de ARN se denomina **transcripción**, ya que en ese proceso la información es transcrita de un tipo de codificación (los nucleótidos del ADN) a otro (los nucleótidos del ARN); no obstante, el lenguaje de tripletes de nucleótidos en el que está escrito el mensaje no cambia durante el proceso.

Durante la transcripción se forma una molécula de ARN complementaria de una de las dos hebras de una doble hélice de ADN, es decir, que sólo se copia uno de los dos filamentos de la molécula de ADN. El proceso es catalizado por la enzima **ARN-polimerasa**.

Formación del ARN

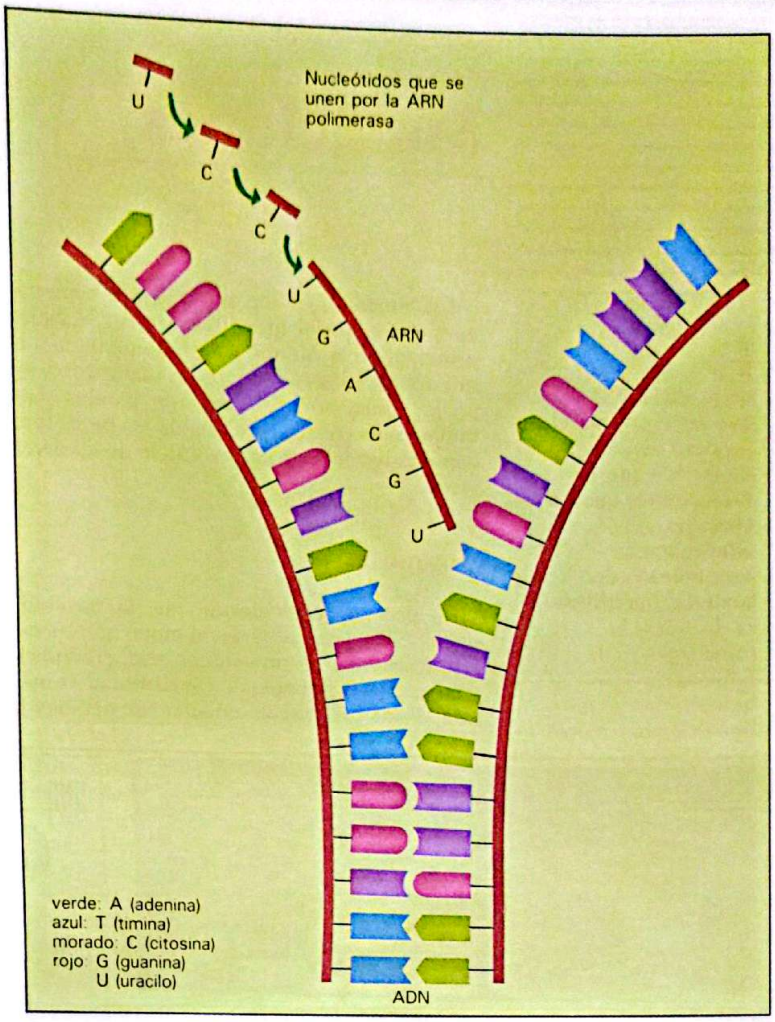
- **Iniciación**. La transcripción comienza con la ayuda de una subunidad de ARN-polimerasa, que reacciona con sitios específicos del ADN llamados *promotores*, provocando la abertura de la doble hélice de ADN. De este modo, «leyendo» el ADN, se inicia la síntesis del filamento de ARN.
- **Prolongación**. La ARN-polimerasa cataliza la adición de nucleótidos a la cadena de ARN en formación, según una secuencia complementaria a la del ADN.
- **Terminación**. El crecimiento de la cadena de ARN continúa hasta que la ARN-polimerasa encuentra una zona o secuencia de terminación, para lo cual es ayudada por una proteína específica, llamada *proteína rho*).

La maduración del ARN en los eucariotas

En los organismos procariotas, tan pronto se ha formado la molécula de ARN, o incluso antes de finalizar su síntesis, empieza a ser traducida en proteína. Pero en los eucariotas, antes de convertirse en los diferentes tipos de ARN (ARNm, ARNt, ARNr) y traducirse en proteína, la molécula de ARN primario necesita atravesar una serie de cambios moleculares denominada **maduración**.

La maduración del ARN tiene lugar en el núcleo de la célula, y los ARN resultantes de este proceso serán más cortos que las versiones iniciales. Los segmentos que se conservan en el ARN maduro se llaman **exones**, mientras que los descartados se llaman **intrones**.

El ARN maduro, en sus formas ARNm y ARNt, es el verdadero ejecutor de las órdenes dadas por el ADN para la biosíntesis de las proteínas, es decir, el encargado de traducir el alfabeto de cuatro letras (los nucleótidos) del ADN (y del ARNm) a un alfabeto de veinte letras (los aminoácidos).



Esquema de la formación de una molécula de ARN sobre una de las cadenas de polinucleótidos del ADN, que actúa como molde.

Hasta hace poco se manipulaban las células reproductoras, pero ahora ya se puede manipular el código genético.

Escaneado con CamScanner

36 Mutaciones

La causa principal de la variabilidad que hace posible el proceso evolutivo de la vida son las mutaciones, que no son sino alteraciones espontáneas del material hereditario.

Las mutaciones son alteraciones espontáneas del material hereditario y son la causa principal de la variabilidad, fenómeno en virtud del cual los individuos de una misma especie nunca son exactamente iguales. Las mutaciones constituyen una de las bases fundamentales del proceso evolutivo de los seres vivos.

VARIABILIDAD

En una especie determinada, la variabilidad puede presentarse de tal modo que las diferencias entre los individuos sean graduales y en este caso se habla de **variabilidad continua**. Estas diferencias pueden ser debidas a factores ambientales que sólo afectan al fenotipo y que por tanto no son heredables, o bien pueden tener su origen en la llamada *herencia polímera*, debida al hecho de que un determinado carácter esté regido por varios pares de alelos que actúan de la misma manera y con efectos acumulativos, en cuyo caso las modificaciones son heredables. La herencia polímera es la base de la selección realizada por el hombre en la cría de ganado y en la obtención de variedades productivas en agricultura.

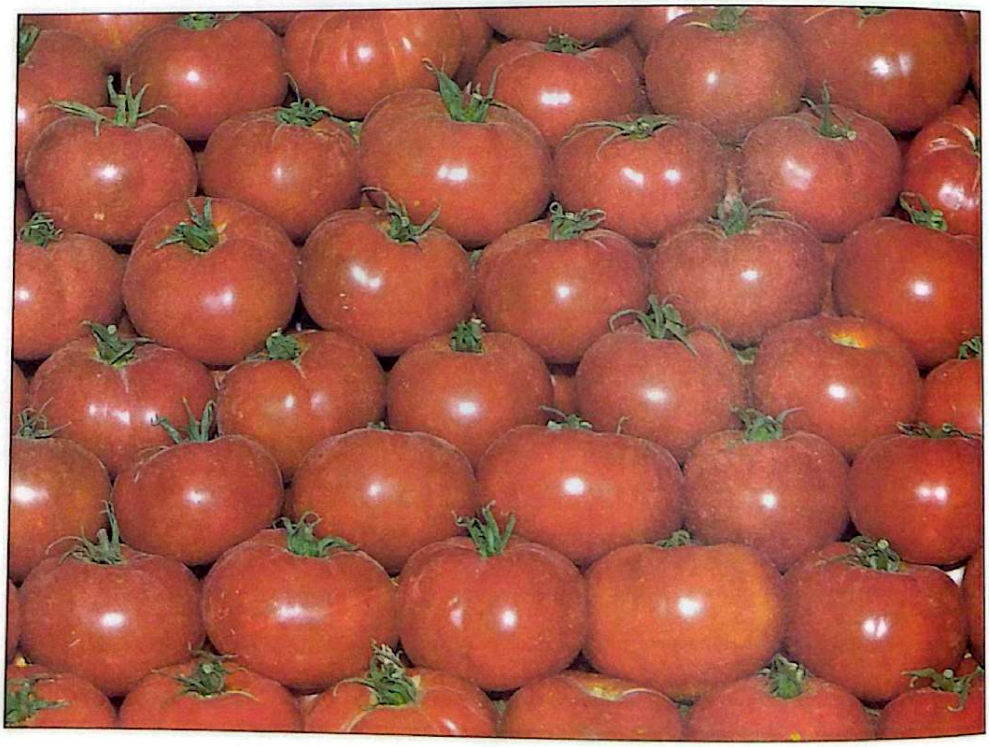
La **variabilidad discontinua**, en cambio, es brusca y se debe a cambios que no responden a las leyes de la herencia, es decir, que aparecen de forma espontánea en el seno de una población. Estos cambios se llaman **mutaciones**.

El mongolismo es debido a la presencia de un cromosoma extra, que corresponde a la pareja 21 de autosomas. Se trata pues de un caso típico de aneuploidía.

MUTACIONES

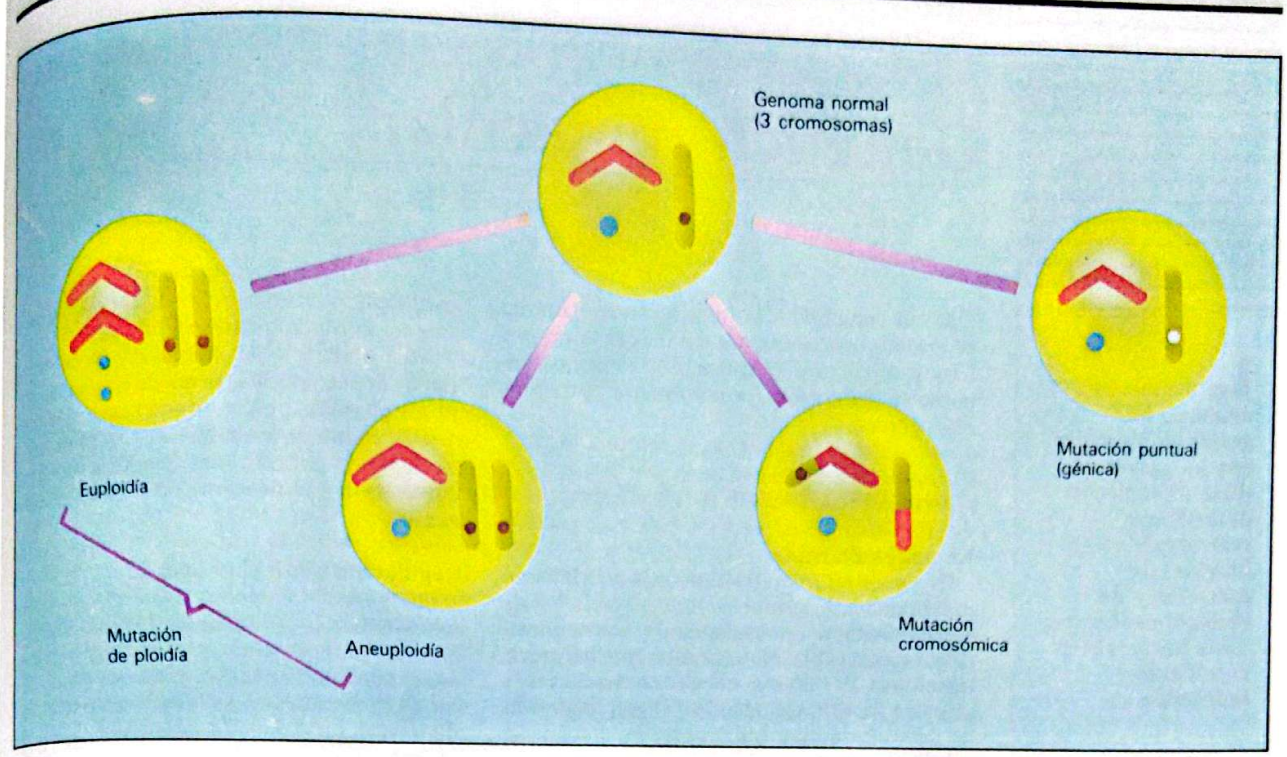
Las mutaciones son hechos accidentales, aunque su aparición puede aumentar con la presencia de agentes mutágenos (como, por ejemplo, las radiaciones de alta energía), y, al afectar al material hereditario, son heredables.

Se suelen distinguir tres tipos de mutaciones: cromosómicas, génicas y genómicas, reservándose más a menudo para estas últimas el nombre de aberraciones cromosómicas,



Mediante poliploidía se han logrado variedades selectas de frutas, cereales y otros cultivos, como estos tomates. Los individuos poliploides poseen en sus células un número de dotaciones cromosómicas superior al normal.

Escaneado con CamScanner



Esquema de diversos tipos de mutaciones en un genoma imaginario de tres cromosomas.

dado que no se trata de cambios moleculares en los genes.

Aberraciones cromosómicas

Consisten en la presencia de un número anormal de series haploides de cromosomas (poliploidía) o bien en el aumento o disminución de la dotación diploide normal en algún cromosoma (aneuploidía).

• **Poliploidía**. En vez de ser diploides, los individuos que sufren este tipo de aberración son triploides, tetraploides, etc., generalmente a causa de que no tiene lugar la meiosis al formarse los gametos.

• **Aneuploidía**. Se debe a la incorporación de dos cromosomas homólogos juntos en un mismo gameto durante la meiosis, en lugar de separarse para incorporarse cada uno a una célula hija. De este modo se forman gametos con un cromosoma menos y con uno de más, que al fecundar otros gametos normales darán lugar a *monosomías* y a *trisomías*, respectivamente. Un caso de trisomía en los humanos es la que se presenta en el cromosoma 21, que es causa del *mongolismo* o síndrome de Down.

Mutaciones cromosómicas

Son cambios en la estructura de los cromosomas. En ciertos casos falta un pequeño segmento del cromosoma (**deleción**) o puede estar presente por duplicado (**duplicación**). También es factible que un segmento del cromosoma sea transferido a una nueva posición en un cromosoma no homólogo (**traslocación**) o que dicho segmento invierta su posición y quede fijo en el cromosoma que le corresponde (**inversión**).

De lo dicho se desprende que, más que de cambios del material genético, se trata de una reordenación del material ya existente, producida durante la división celular y especialmente en la meiosis.

Mutaciones génicas: las verdaderas mutaciones

Las mutaciones propiamente dichas son aquellas en las cuales hay cambios moleculares en los genes, a causa de errores de la replicación o la reparación del ADN. Una vez producida la mutación, el nuevo gen, llamado *mutante* es tan estable como aquel del cual procede, llamado *silvestre*, transmitiéndose a la descendencia.

La mayoría de los genes mutantes son desfavorables para el organismo, en cuyo caso se habla de **mutaciones regresivas**, que pueden incluso causar la muerte (*genes letales*). No obstante, la mayoría de los genes mutantes son *recesivos* respecto de su progenitor silvestre y, por tanto, sólo se expresan si se encuentran en homocigosis. A veces el gen mutante resulta favorable respecto del silvestre (**mutaciones progresivas**), o bien indiferente.

Algunas mutaciones génicas son simples sustituciones de pares de bases, que cambian el sentido de un triplete pero no el sistema de lectura: puede tratarse de la sustitución de una base púrica o pirimídica por otra de la misma familia, o bien la sustitución de una purina por una pirimidina o viceversa. Pero las más frecuentes son aquellas que, por adición o deleción de pares de bases, producen un corrimiento del sistema de lectura (que opera por tripletes de bases) y el desplazamiento de la pauta de lectura. Estas **mutaciones de corrimiento** suelen causar cambios drásticos en la traducción y por tanto en la síntesis de la proteína en cuestión.

Algunas regiones del ADN son mucho más susceptibles a las mutaciones que otras. Esos **puntos calientes** del ADN suelen ser nucleótidos individuales o pequeños segmentos de nucleótidos repetidos. Y ciertas mutaciones aumentan su frecuencia al volverse menos competente la replicación del ADN o al fallar los sistemas enzimáticos de reparación.

Escaneado con CamScanner

Genética molecular 37

La tecnología moderna ha permitido descubrir que un gen es un trozo de molécula de ADN con individualidad de función, de mutación y de recombinación, que hasta hace poco se consideraba indivisible.

En la actualidad, la investigación genética se orienta especialmente a conocer la naturaleza y estructura química de los genes, así como su fisiología y los fenómenos de regulación génica.

CONCEPTO MODERNO DE GEN

El gen es divisible

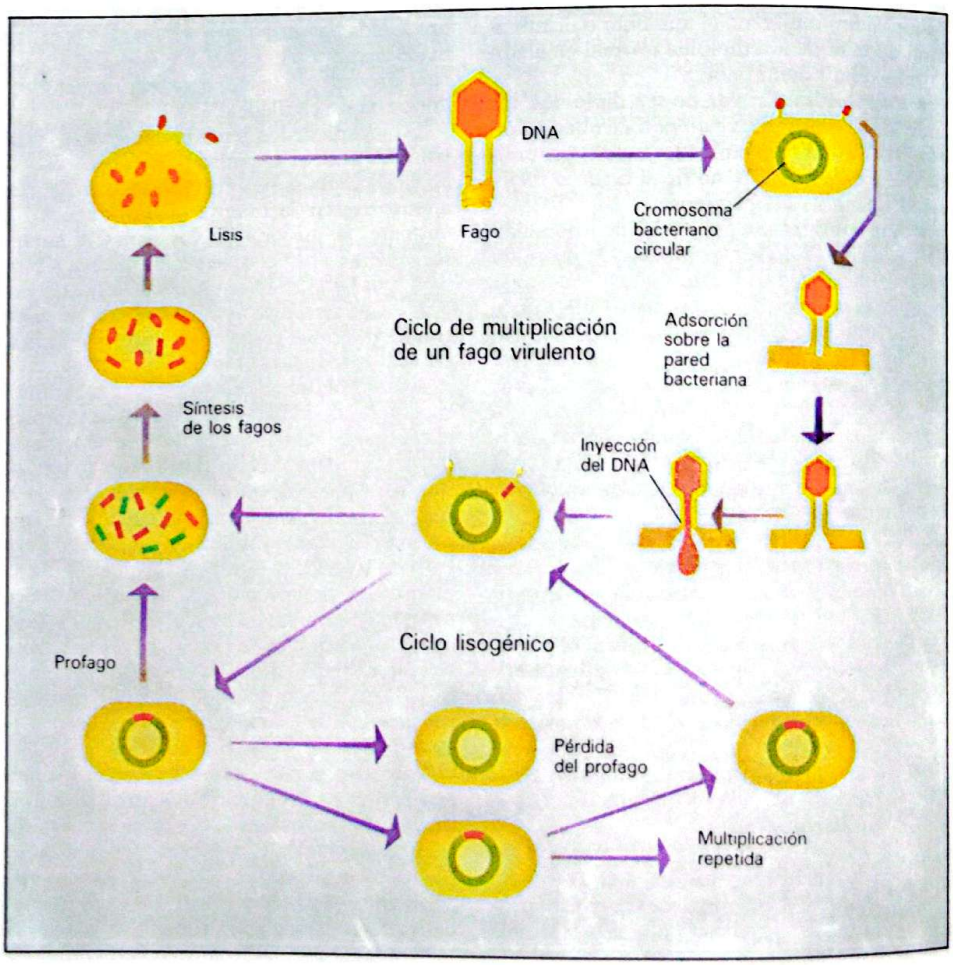
El gen es un trozo de molécula de ADN con individualidad de función, de mutación y de recombinación, que hasta hace poco se consideraba indivisible. No obstante, tras las investigaciones llevadas a cabo con bacterias y virus en las últimas décadas, el gen ha dejado de ser una unidad indivisible. De hecho, se subdivide en tres unidades: cistrón, recón y mutón.

- El **cistrón** es la unidad de función genética, es decir, una secuencia de nucleótidos de la molécula de ADN (pero no siempre, ya que algunos virus usan ARN) que codifica un polipéptido o una proteína. De hecho, es la misma definición moderna de gen.
- El **mutón** es la unidad de mutación, es decir, la porción más pequeña de cistrón que, al ser alterada, puede originar una mutación.
- El **recón** es la unidad de recombinación, es decir, la porción más pequeña de cistrón capaz de intercambiarse por recombinación génica.

Regulación génica: el operón

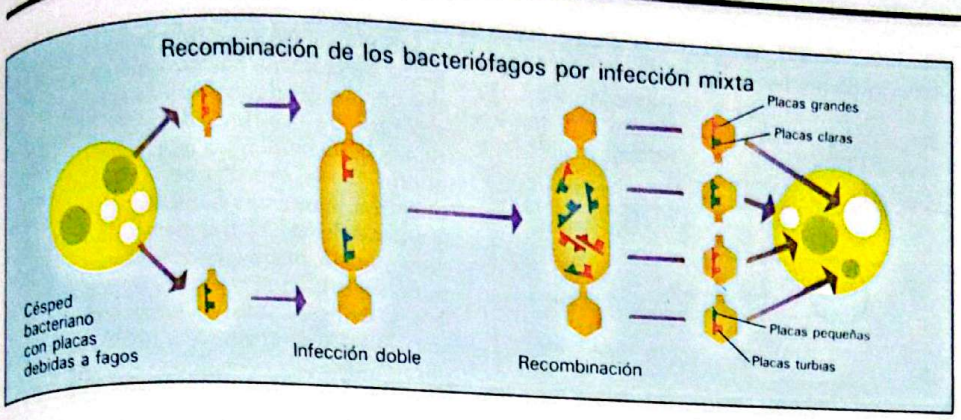
Los genes no operan produciendo el número máximo de enzimas u otras proteínas todo el tiempo, sino que cada gen parece estar reprimido en mayor o menor grado bajo condiciones normales; luego, en reacción a algún tipo de demanda ambiental de alguna enzima, el gen es inducido y se inicia el proceso de la transcripción.

- **En los procariotas**, además de los **genes estructurales** que codifican la síntesis de proteínas específicas, existen **genes reguladores** que determinan la síntesis de proteínas repre-



Multiplicación de los bacteriófagos, virus que infectan bacterias.

Escaneado con CamScanner



Recombinación de los bacteriófagos por infección mixta.

soras. Éstas se unen a los **genes operadores** del ADN y obstaculizan la transcripción de los genes estructurales adyacentes. La proteína represora puede ser desactivada por la presencia de un sustrato en particular, constituyendo un mecanismo de retroalimentación negativa para el control de los genes estructurales. Los genes estructurales que están bajo el control de un gen regulador y los genes operadores forman en conjunto lo que se ha denominado **operón**. Todas las enzimas producidas por un operón reciben el nombre de enzimas coordinadamente reprimidas.

• **En los eucariotas**, los genes son controlados espacialmente por **secuencias de inserción** (también presentes en las células procariotas), que son elementos móviles que, al insertarse en un gen lo inactivan. Los **trasposones** son otro tipo de partículas móviles que inactivan o potencian genes en los cuales se insertan, valiéndose de un intermediario de ARN para desplazarse.

Fisiología del gen:
un gen-una enzima-una reacción

El estudio de la fisiología del gen está encaminado al conocimiento de los mecanismos en virtud de los cuales la presencia de un gen determinado en el genotipo de un organismo conduce a la expresión, en el fenotipo, del carácter que de él depende.

El carácter fenotípico se forma como resultado final de una serie de reacciones químicas escalonadas controladas por el gen que rige dicho carácter. Pero los genes no controlan directamente estas reacciones químicas, sino que lo hacen controlando las enzimas que catalizan dichas reacciones. Así, un gen sintetiza una enzima específica, la cual, a su vez, cataliza una reacción también específica.

GENÉTICA BACTERIANA

Los conocimientos genéticos a nivel molecular se deben en gran medida al desarrollo experimentado por las investigaciones genéticas realizadas en bacterias y algunos hongos. Al tratarse de organismos haplontes y que, además, se reproducen con gran rapidez, la genética bacteriana elimina muchos de los problemas que plantea el experimentar con organismos diplontes y los resultados son mucho más rápidos.

En los organismos haplontes los caracteres hereditarios están regidos por un solo gen y no por un par de alelos, y no hay meiosis ni formación de gametos ni fecundación. Sin embargo, hay un intercambio de material genético, que se puede producir mediante tres tipos de mecanismos: conjugación, transducción y transformación.

• La **conjugación** consiste en un intercambio de material genético entre dos bacterias, una dadora (masculina) y otra receptora (femenina), a través de un puente citoplasmático que establecen entre ambas. De ello resulta que la bacteria receptora presenta, tras la conjugación, un genoma mixto.

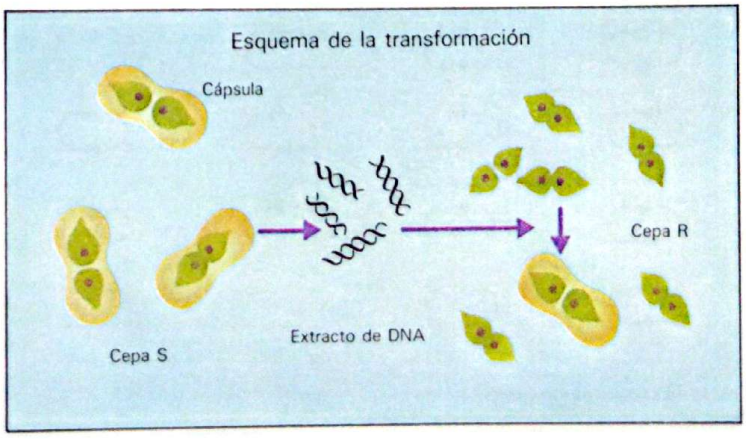
• La **transducción** se produce cuando un fago incorpora parte del ADN de la célula huésped en su propio ADN, de manera que puede transportar este ADN incorporado e introducirlo en una nueva célula huésped.

• La **transformación** es el cambio genético que experimenta una bacteria tras haber estado expuesta a un ADN aislado procedente de otra bacteria y haberse recombinado. En ingeniería genética, el ADN transformador que normalmente se utiliza es el de los plásmidos.

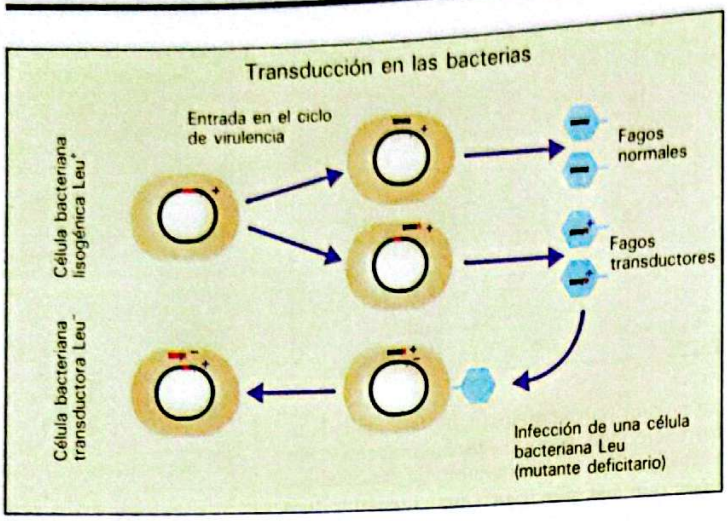
INGENIERÍA GENÉTICA

La ingeniería genética es el conjunto de las técnicas que permiten manipular el ADN (los genes) de los organismos vivos. Estas técnicas van desde el cultivo de células o la utilización de radioisótopos hasta la clonación molecular y la tecnología del ADN recombinante, pasando por el perfeccionamiento de los procedimientos de obtención, purificación y manipulación de enzimas.

Mediante la transformación las bacterias intercambian material genético sin formación de gametos y sin fecundación.



Escaneado con CamScanner



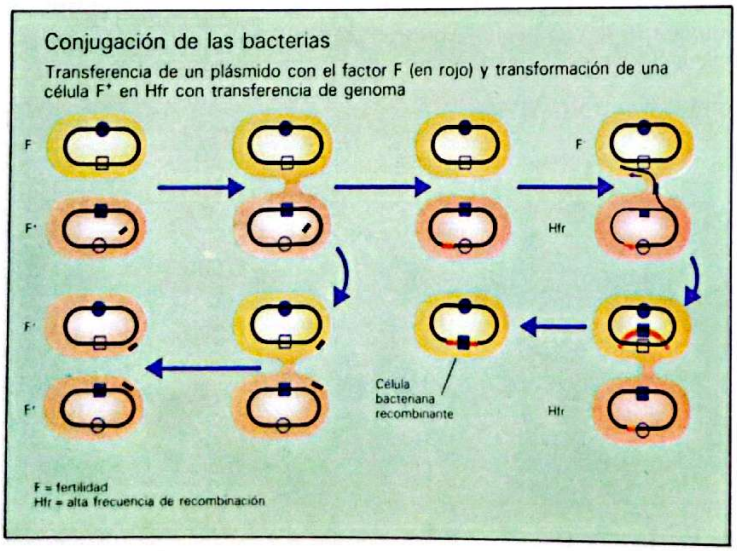
La transducción (arriba) y la conjugación (abajo) son dos tipos de procesos genéticos en las bacterias, regidos por un solo gen.

El ADN recombinante

La formación de nuevas combinaciones artificiales de ADN en organismos muy diversos se consigue mediante las llamadas **técnicas del ADN recombinante**, que permiten identificar el ADN de un gen específico entre todos los genes que integran el genoma. Ese ADN específico puede ser aislado, transferido a un organismo diferente e incorporado en su genoma, de tal manera que será replicado junto con el ADN del huésped.

Si hacemos que el gen pueda ser insertado de modo que el marco de lectura de sus tripletes sea el correcto, y si el ADN que hemos transferido incluye una región reguladora que contenga un promotor, puede ser transcrito y traducido, lo que da por resultado la producción de una proteína nueva; es decir, una proteína que el huésped jamás había producido antes.

Para introducir un gen en una célula se utiliza normalmente un plásmido, aunque también pueden utilizarse ciertos tipos de bacteriófagos llamados *cósmidos*. Los **plásmidos** son los pequeños cromosomas secundarios circulares de doble hélice que muchas bacterias contienen además del cromosoma principal y que se replican independientemente del cromosoma del huésped.



Los plásmidos son primeramente aislados a partir de la célula huésped bacteriana y tratados con una endonucleasa de restricción. Las **enzimas de restricción** son enzimas bacterianas que rompen las moléculas de ADN en puntos diana específicos (*endonucleasas*) y unen los segmentos homólogos (*ligasas*) con gran precisión. El fragmento de ADN obtenido con la misma endonucleasa y el plásmido recortado se unen luego por acción de una ADN-ligasa. Las bacterias son expuestas acto seguido al plásmido y una pequeña proporción de ellas lo engloban. De esta manera se puede introducir cualquier fragmento de ADN, incluso sintetizado químicamente, en un plásmido que luego lo inserta en el genoma de una bacteria huésped.

Si se trata de insertar un fragmento de ADN eucariota en un ADN procariota no se parte directamente del ADN eucariota, sino del llamado *ADN complementario*, el cual se obtiene mediante una *transcriptasa inversa* a partir del ARNm del gen eucariota. Para insertar los genes así manipulados se utilizan normalmente bacterias, por la rapidez y facilidad de su cultivo, a menudo mediante procedimientos de transformación.

Clonación molecular

La clonación molecular consiste en introducir un fragmento de ADN extraño en el interior de una bacteria para que sea replicado. De esta manera se consigue obtener en breve tiempo un número muy elevado de copias.

Gracias a las técnicas de clonación se pueden obtener determinadas proteínas a nivel industrial (por ejemplo, insulina), ya que el primer paso de este proceso es la clonación del gen que codifica la proteína en cuestión. Pero la clonación es, además, la única forma de disponer de grandes cantidades de un mismo gen, lo que posibilita estudiar sus secuencias y establecer verdaderas bibliotecas (*genotecas*) o archivos de secuencias de genes.

ARN recombinante

También se puede insertar genes en el ARN de manera muy parecida a como se hace con el ADN y después conseguir que el ARN recombinante se autorreplique directamente sin necesidad de un ADN intermediario. Ello es posible gracias a la existencia de ciertos virus de ARN que son capaces de autorreplicarse por sí mismos. Por otro lado, es el ARN, no el ADN, quien dirige en realidad la síntesis de proteínas.

PREOCUPACIONES SOBRE LA MANIPULACIÓN GENÉTICA

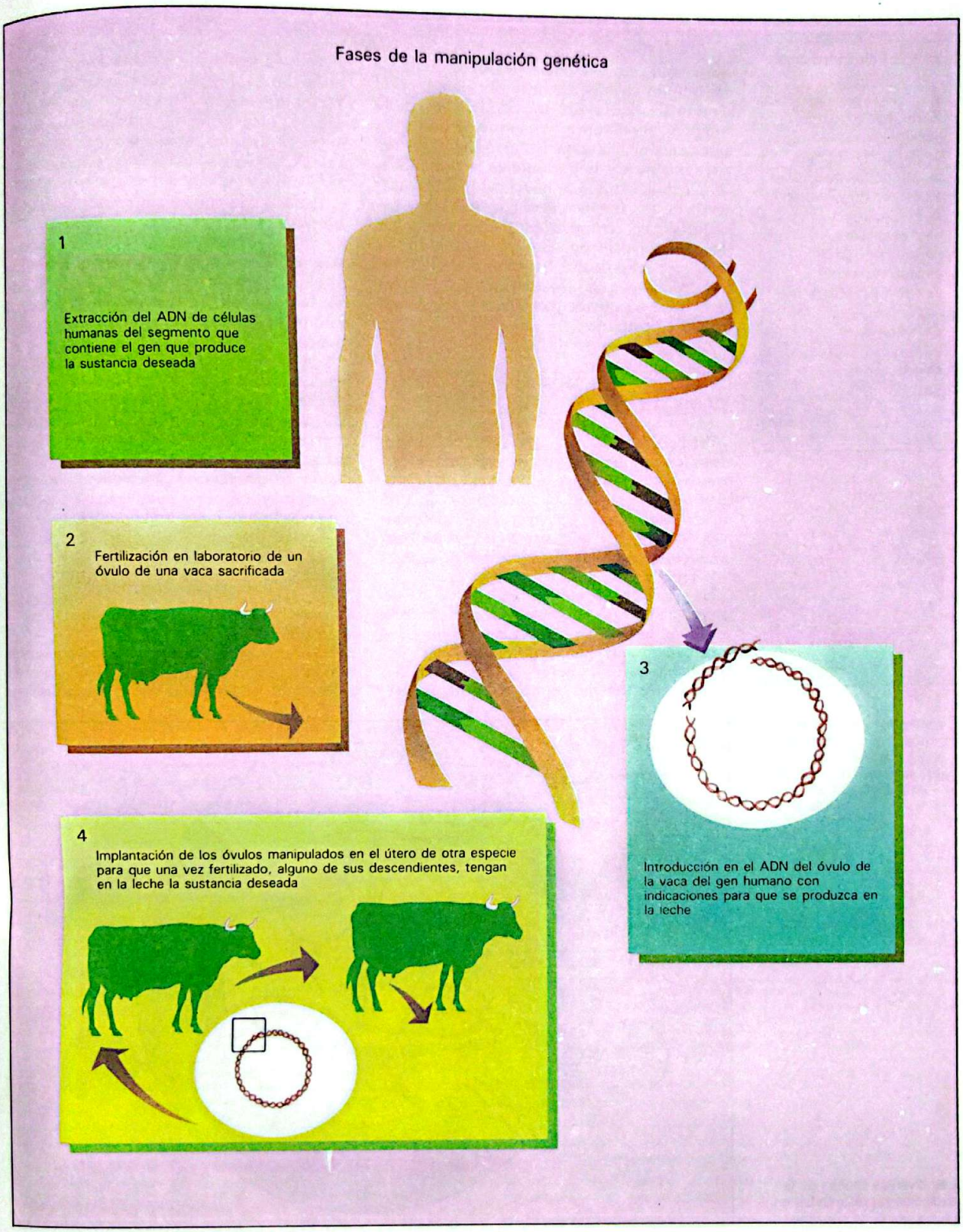
Con el desarrollo de la ingeniería genética ha surgido la posibilidad de desarrollar por accidente un organismo que produzca efectos ecológicos o de otro tipo en un sentido negativo. Las medidas tomadas en los laboratorios para evitar la posibilidad de un escape accidental de cepas nuevas con las que el mundo no ha tenido experiencias nuevas han sido hasta el momento eficientes; pero el verda-

Escaneado con CamScanner

dero peligro parece encontrarse en la permanencia de los resultados de la manipulación genética.

La mayoría de las acciones de los humanos son muy temporales. La permanencia real se encuentra en la información genética de los organismos, ya que ésta se autopropaga de una manera activa no igualable por ninguna otra manipulación ambiental. La tecnología del ADN recombinante ha hecho posible la creación de información genética y su incorporación a formas de vida autoperpetuadas que, una vez creadas, pueden persistir durante épocas geológicas.

La biotecnología permite la utilización de animales productores de leche como fábricas de medicinas u otras sustancias.



Escaneado con CamScanner

Evolución

38

Las mutaciones producen variación hereditaria. Luego, la selección natural se cuida de eliminar aquellas que son desfavorables, orientando la evolución en el sentido de elegir los organismos mejor dotados para adaptarse a nuevas condiciones ambientales.

Así como uno de los aspectos principales del mundo viviente es su uniformidad, en el sentido de que existe un paralelismo en la composición química, organización biológica y mecanismos funcionales de todos los seres vivos, no menos importante es la diversificación actual a la que se ha llegado en el transcurso de los tiempos geológicos. Ambas características, *uniformidad* y *diversificación* son la base del concepto de **evolución**, es decir, el hecho de que los seres vivos han sufrido cambios a lo largo del tiempo que han dado lugar a su diversificación a partir de antepasados comunes.

EL EQUILIBRIO GENÉTICO Y LA EVOLUCIÓN

Para contemplar el fenómeno de la evolución, los problemas genéticos se enfocan en base a las poblaciones, entendiendo por **población** el conjunto de individuos de una misma especie que conviven en un determinado territorio y que, por tanto, están bajo condiciones ambientales semejantes y se pueden cruzar entre sí.

La **genética de poblaciones** se ocupa de averiguar en qué porcentaje se mantienen a través de las distintas generaciones los diferentes genotipos que puede presentar un determinado carácter hereditario, es decir, las llamadas frecuencias génicas. El principio básico de la genética de poblaciones está resumido en la **ley de equilibrio de Hardy-Weinberg**, según la cual, en una población dada, la proporción de individuos homocigóticos dominantes, homocigóticos recesivos y heterocigóticos se mantiene constante de generación en generación mientras no incidan en dicha población fuerzas perturbadoras que alteren el equilibrio.

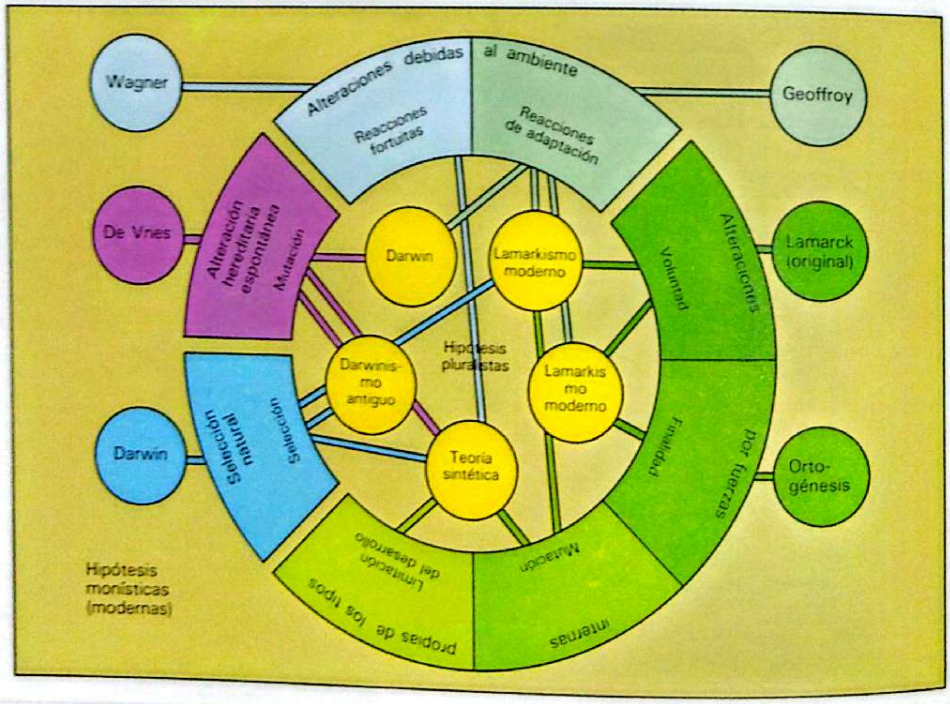
Pero, naturalmente, en la realidad siempre existen fuerzas perturbadoras que alteran el equilibrio genético de una población, y éstas son básicamente las mutaciones, la selección natural, la deriva génica y la mezcla de poblaciones.

Con las mutaciones, realmente, se inicia el proceso evolutivo, ya que son los únicos cambios que afectan al genotipo y por tanto pueden producir variación hereditaria. La selección natural se cuida de eliminar aquellas mutaciones desfavorables, orientando la evolución en un sentido determinado al elegir los organismos mejor dotados para adaptarse a nuevas condiciones ambientales.

MECANISMOS DE LA EVOLUCIÓN

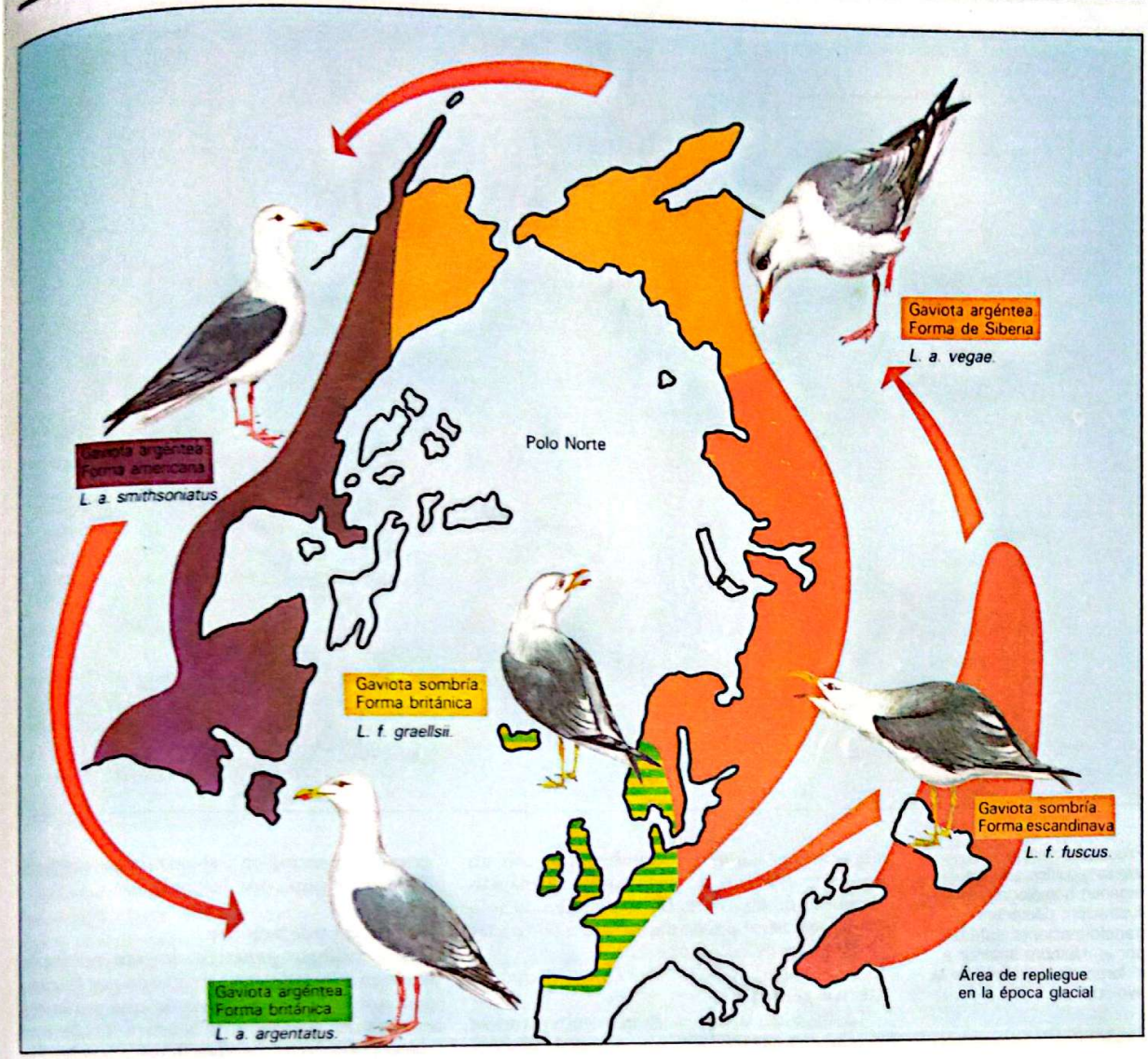
La materia prima de la evolución: las mutaciones

Al aparecer por primera vez una mutación, sólo uno o unos pocos individuos de la población tienen el gen mutante, y la rapidez con



Las diversas teorías de la evolución representadas en un esquema de conjunto.

Escaneado con CamScanner



El aislamiento geográfico dio lugar a la formación de razas y especies a partir de las gaviotas de la región del mar Caspio tras la Era Glacial.

que éste se extiende en el seno de la población depende en gran medida del hecho de que sea favorable, neutro o desfavorable. El aumento de la frecuencia de dicho gen en la población suele ser un proceso gradual que sucede a través de muchas generaciones, y el éxito o el fracaso depende sobre todo de su ventaja selectiva, es decir, de la capacidad que confiere al poseedor para dejar un gran número de descendientes vivos en la siguiente generación respecto a los poseedores de los alelos alternativos.

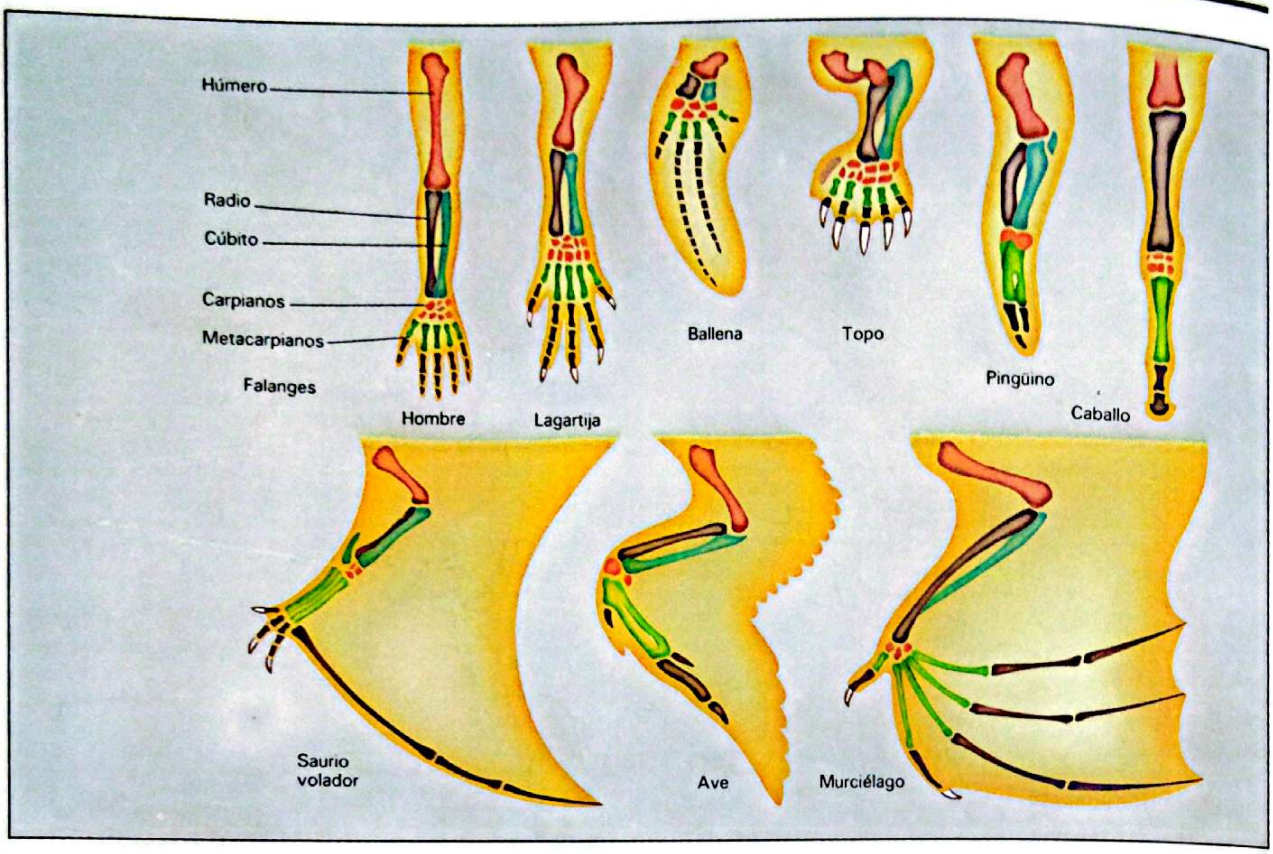
La selección natural

La selección natural actúa con mucha más fuerza sobre el equilibrio génico de las poblaciones que las mutaciones. La mayoría de los genes tienen muchos efectos diferentes sobre el fenotipo (*pleiotropía*), de modo que algunos de los efectos de un determinado gen pueden ser ventajosos para la sobrevivencia (ejercen presión selectiva positiva) y otros desventajosos (presión selectiva negativa). La frecuencia génica de un determinado alelo depende del signo de la suma algebraica de todas las presiones selectivas.

La teoría de la selección natural propuesta por **Darwin** y **Wallace** es la única que ha sobrevivido a los embates de los nuevos conocimientos hasta la actualidad, y se puede resumir del siguiente modo:

- Al nacer más individuos de los que logran sobrevivir, existe una lucha por la existencia: una competencia por el alimento y el espacio, especialmente en condiciones ambientales desfavorables.
- Aquellos individuos cuyas variaciones les confiere una mayor capacidad para sobrevivir en un ambiente cualquiera se ven favorecidos en comparación con otros que están mal adaptados.
- Los organismos supervivientes son los que dan origen a la siguiente generación, con lo cual se transmiten las variaciones exitosas de una generación a la siguiente y así sucesivamente.
- Conforme el medio cambia, van apareciendo nuevas adaptaciones, y la acción de la selección natural a través de largos períodos de tiempo puede conducir a la aparición de descendientes muy distintos de sus ancestros. Ciertos miembros de la población, con un grupo de variaciones, pueden adaptarse mejor a los cambios ambientales de una ma-

Escaneado con CamScanner



Pruebas de evolución transespecífica son los órganos homólogos. En la ilustración: diferentes transformaciones sufridas por el miembro anterior a lo largo de la historia de la evolución.

nera, mientras que otros individuos, con un conjunto diferente de variaciones, se adaptan de un modo diferente. De este modo, un solo grupo ancestral puede dar origen a dos o más tipos distintos de organismos.

Deriva génica

La base de la deriva es el cambio que se produce en las frecuencias génicas de una población como resultado de procesos aleatorios. A diferencia de otros factores evolutivos, se trata de un factor de cambio de las frecuencias génicas dispersivo y no direccional, ya que sus efectos son la diferenciación de las diversas poblaciones aisladas. A nivel de cada población, en cambio, aumenta la homogeneidad y, por tanto, la homocigosis.

- **Efecto del fundador**. Un caso muy común de deriva génica es el efecto desproporcionado (sobre las frecuencias génicas) que ejerce sobre una población un número limitado de ancestros, como ocurre en la colonización de un nuevo hábitat por un reducido número de individuos. Naturalmente, el efecto es mucho más notable en las islas y otras áreas de aislamiento geográfico.
- **Efecto de embotellamiento**. En algunas especies, sólo unos cuantos individuos sobreviven ante una determinada etapa crítica de su ciclo vital, los cuales, sin ser necesariamente representativos del material genético de la población de la cual provienen, son los que dan origen a toda la población futura, ejerciendo un efecto desproporcionado sobre las frecuencias génicas. El nombre de efecto de embotellamiento, o de cuello de botella, viene de que tal fenómeno se puede considerar como una extracción periódica y al azar de ciertos genes de la poza génica de la población.

Mezcla de poblaciones

El equilibrio genético de una población también se puede ver perturbado por la introducción de genes a partir de una población externa. El resultado es la aparición de nuevos genotipos que pueden llegar a quedar fijados y originar de este modo una nueva raza.

Si el paso de genes de una a otra población o **flujo génico** es de poca intensidad, los efectos son similares a los de la mutación; pero si la migración es de un número considerable de reproductores, la variación de las frecuencias génicas puede ser notable. A veces, el flujo genético se produce en zonas de contacto entre especies diferentes y origina la *hibridación introgresiva*.

PRUEBAS DE LA EVOLUCIÓN

La teoría general de la evolución afirma que todos los organismos han evolucionado gradualmente a partir de un tipo ancestral común de organización sencilla. Esta teoría se basa, naturalmente, en datos y pruebas provenientes de áreas de investigación como la morfología, paleontología, embriología, bioquímica, biogeografía y procesos microevolutivos observados.

Microevolución y macroevolución

Los biólogos distinguen entre microevolución, responsable de la formación de razas,

Escaneado con CamScanner

variedades y especies (incluso a veces géneros), y macroevolución, que explicaría la formación de los grupos de rango superior con la ayuda de *macromutaciones* u otros factores de notable significado. También hay quien defiende que, a través de millones de años, la acumulación de muchos cambios microevolutivos puede dar origen a la macroevolución.

La microevolución se ha podido observar en muchas ocasiones, por ejemplo, en cepas bacterianas que se han vuelto resistentes a los antibióticos, en ciertos insectos que se han vuelto resistentes a determinados insecticidas o en el caso del melanismo industrial entre las polillas.

Pruebas paleontológicas

El registro fosilífero representa el curso real de la historia de la vida en el planeta y demuestra que la mayoría de las formas extintas y vivientes son distintas; no obstante, en un gran número de casos es posible identificar a los ancestros putativos de las formas vivientes entre los organismos fósiles.

Pruebas biogeográficas

Las áreas biogeográficamente aisladas tienden a estar habitadas por organismos ecológicamente similares, pero con diferente origen taxonómico, lo que indica que cada grupo de organismos representa una *radiación adaptativa* independientemente.

Pruebas morfológicas y embriológicas

• **Caracteres constitucionales y caracteres adaptativos.** Los caracteres constitucionales caracterizan un plan de organización básico y común para todos los organismos con un antepasado común, mientras que los caracteres adaptativos son exclusivos de ciertos organismos por modificación de los anteriores como consecuencia de la adaptación a un determinado tipo de vida.

• **Órganos homólogos y órganos análogos.** Solamente las semejanzas basadas en los órganos homólogos son válidas al atribuir las relaciones evolutivas. Son homólogos aquellos órganos que poseen el mismo tipo de organización, debido a que tienen el mismo origen. Los órganos análogos desempeñan la misma función, pero tienen un origen diferente.

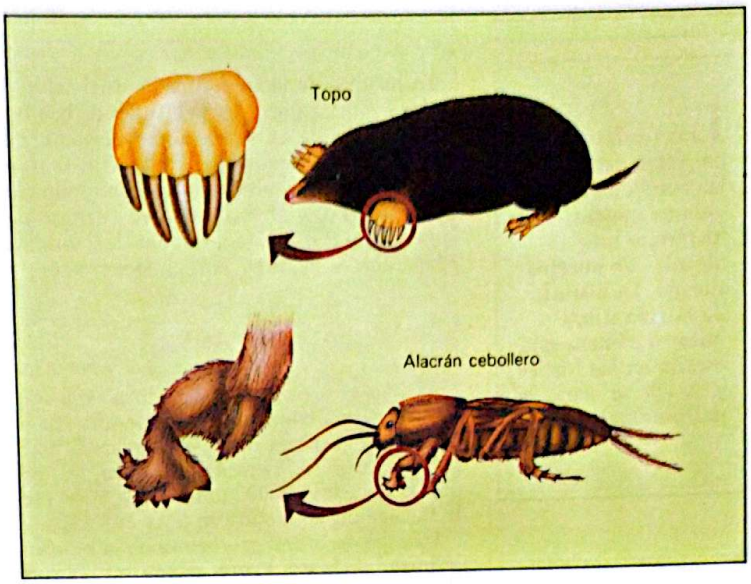
• **Órganos vestigiales.** Casi todos los seres superiores, vegetales y animales, contienen órganos o partes de órganos que son inútiles y degenerados en comparación con las estructuras homólogas funcionales de organismos emparentados con los poseedores. Estos órganos vestigiales suelen ser explicados como los restos de órganos que fueron funcionales en algún organismo ancestral.

• **Ley fundamental de la biogenética.** *La ontogenia recapitula la filogenia*, es decir, que el desarrollo de un ser vivo es una recapitulación de su historia evolutiva.

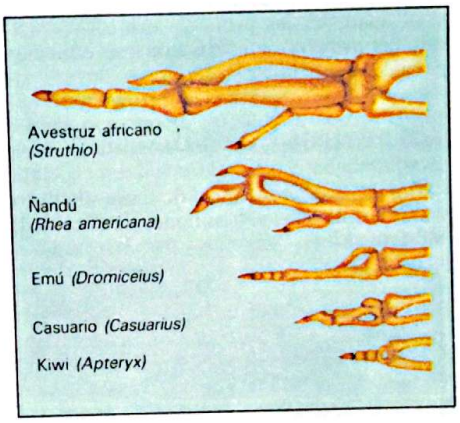
Pruebas bioquímicas e inmunológicas

La unidad bioquímica existente en todos los seres vivos, que se manifiesta fundamentalmente en las semejanzas estructurales de los ácidos nucleicos, sólo se explica admitiendo un origen común para todos ellos.

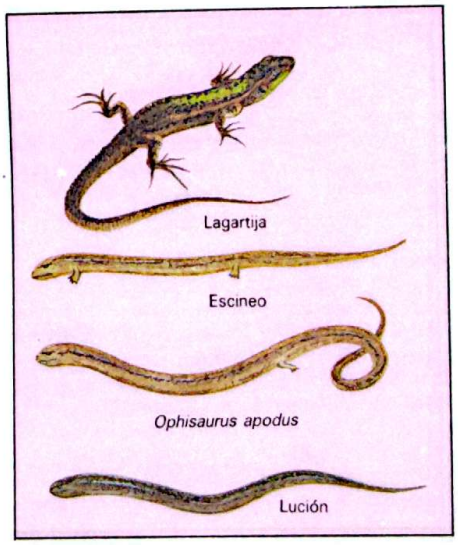
Por otro lado, la especificidad de las proteínas es tanto menor cuanto mayor es el parentesco filogénico, lo que se pone de manifiesto en las pruebas inmunológicas basadas en las reacciones antígeno-anticuerpo.



Los órganos análogos desempeñan la misma función, pero tienen un origen diferente, como en el caso de las patas excavadoras del topo y del alacrán cebollero.



Regresión de las alas en las aves corredoras.



Los órganos vestigiales suelen ser restos de órganos que fueron funcionales en algún antepasado de la historia evolutiva: regresión de las patas en los saurios.

Escaneado con CamScanner

La historia de la vida: Paleontología

39

Los fósiles permiten estudiar las condiciones de vida en épocas históricas muy alejadas de nuestro tiempo. La historia de la vida sobre nuestro planeta está escrita en los fósiles y de ella se ocupa la paleontología.

La historia de la vida, basada en el estudio de los fósiles, viene a ser la historia de la biosfera y se divide en dos grandes períodos de tiempo, llamados **eones**: el **Criptozoico** (tiempo de vida oculta) también denominado **Precámbrico**, y el **Fanerozoico** (tiempo de vida aparente), que comprende los últimos 570 millones de años, aproximadamente.

LOS TIEMPOS PRECÁMBRICOS

Aunque el registro fósil data de la explosión de la vida ocurrida durante el período Cámbrico, hay pruebas de la existencia de vida mucho antes, en la **era Arqueozoica**, que se inició hace unos 4.000 millones de años, con la formación de la corteza terrestre.

La capa de ozono protectora de la biosfera se formó en la **era Proterozoica**, que se considera la era de las cianofíceas y durante la cual aparecen las primeras células eucariotas, las primeras talofitas con reproducción sexual y los primeros metazoos.

LOS TIEMPOS FANEROZOICOS

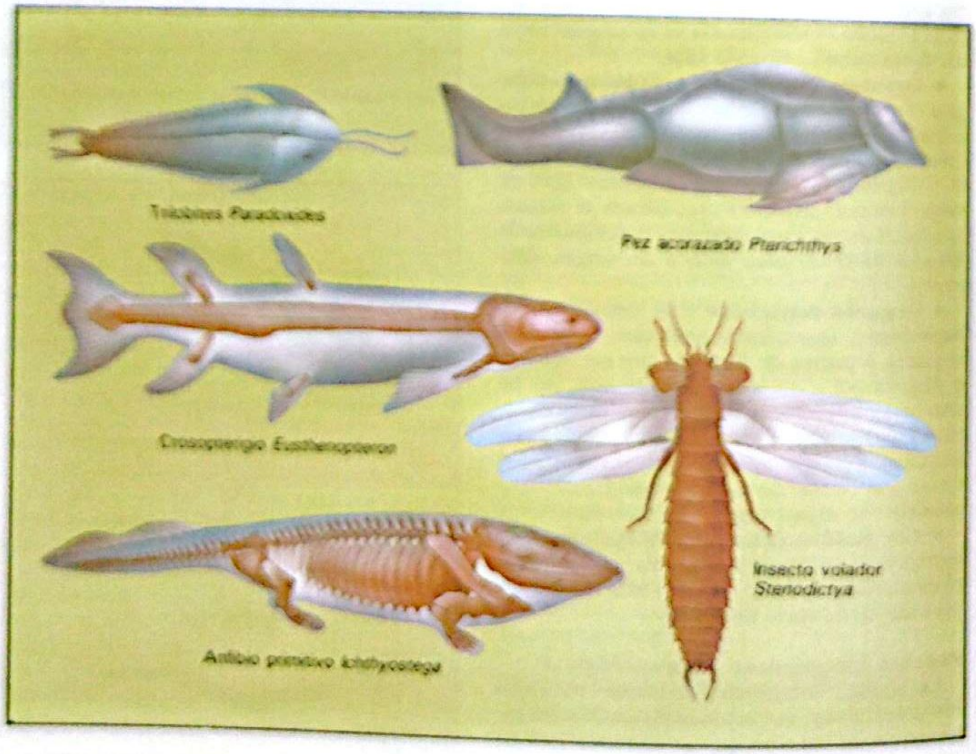
Gracias a la abundancia de fósiles, la historia de los últimos 570 millones de años de la biosfera es bien conocida, y para su estudio se ha dividido en tres eras: Paleozoica (que se inicia con el período Cámbrico), Mesozoica y Cenozoica.

Era Paleozoica

La era Paleozoica, comprendida entre hace 570 y 240 millones de años aproximadamente, se subdivide en seis períodos: **Cámbrico**, **Ordovicíense**, **Silúrico**, **Devónico**, **Carbonífero** y **Pérmico**. En ella tuvieron lugar dos grandes extinciones masivas, una a finales del Devónico y otra (la más importante que ha sufrido la biosfera) que marca el final de la era, debida probablemente a un prolongado período de aridez extrema y una gran regresión marina a causa de la formación del supercontinente **Pangea**.

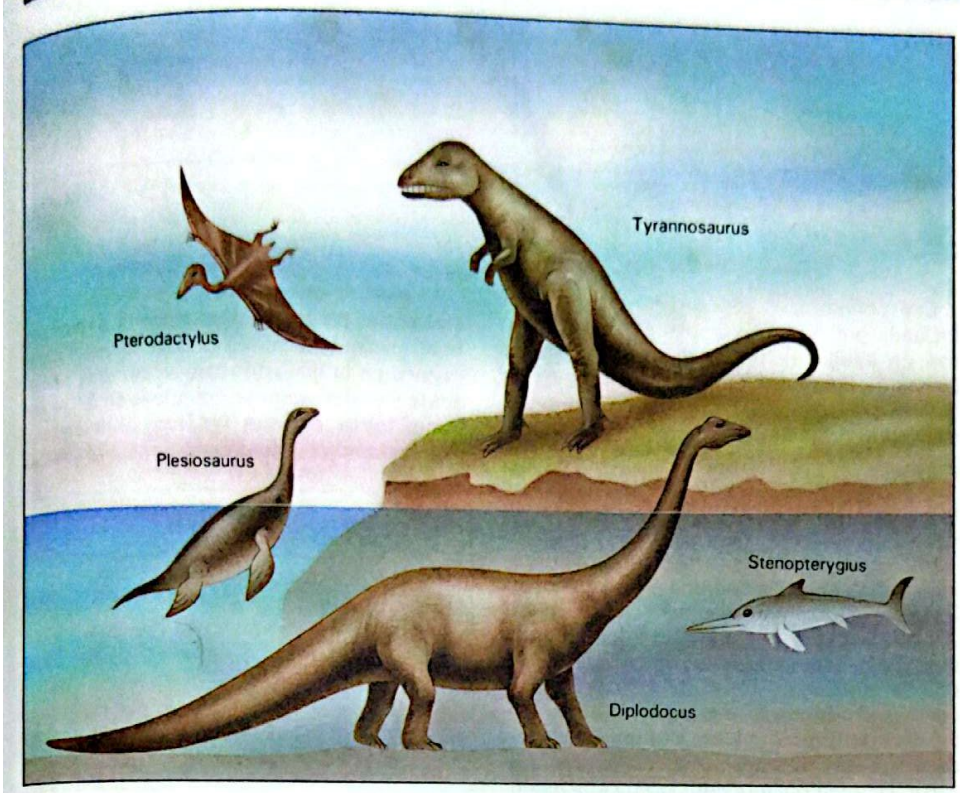
En el Cámbrico ya están representados todos los *phyla* animales de la actualidad, con excepción de los cordados. Más tarde se desarrollan los peces y, a partir de un grupo de ellos, derivan los anfibios, los primeros vertebrados que colonizarán el medio terrestre.

En el reino vegetal, el primer intento de vida continental, las briofitas, se desarrolla a partir del Devónico, y alcanza su máximo apogeo en el Carbonífero con el desarrollo de las pteridofitas y la aparición de las primeras gimnospermas (coníferas primitivas). Buena parte de los depósitos actuales de carbón datan de este período.



A finales del Paleozoico ya estaban representados todos los *phyla* actuales del reino animal, de los que se ilustran algunos ejemplos.

Escaneado con CamScanner



El Mesozoico se caracterizó por el predominio de los reptiles, que alcanzaron un extraordinario desarrollo, como se ha reflejado en el dibujo donde se han reconstruido varias especies a partir de restos fósiles hallados.

Era Mesozoica

La era Mesozoica, comprendida entre hace 248 y 65 millones de años aproximadamente, se subdivide en tres períodos: **Triásico, Jurásico** y **Cretácico**. Son tiempos de uniformidad climática y gran expansión biológica, al final de los cuales se produjo una gran crisis con la regresión y extinción de numerosos grupos de organismos (desaparecen los dinosaurios).

Se caracteriza por el predominio de los reptiles. De un grupo de ellos, los terápsidos, evolucionaron los primeros mamíferos, así como de otros grupos surgieron las primitivas aves.

En el reino vegetal, alcanzan un gran desarrollo las gimnospermas, las pteridospermas entran en regresión y aparecen las angiospermas.

Era Cenozoica

La era Cenozoica incluye los últimos 65 millones de años y comprende dos períodos: **Terciario** (subdividido en cinco épocas: Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno) y **Cuaternario** (subdividido en Pleistoceno y Holoceno).

Los tiempos cenozoicos se caracterizan por una gran radiación de los mamíferos, que pasan a ser el grupo predominante en los continentes, por la gran abundancia de gimnospermas y por la gran expansión de las angiospermas, que pasan a ser los vegetales predominantes.

Durante el Paleoceno se desarrollan los primates a partir de pequeños insectívoros, y durante el Mioceno se produce la diversificación de los simios (aparecidos en el Eoceno), con la aparición de los antepasados de los póngidos y de los homínidos.

Hominización

Se llama hominización al largo proceso evolutivo a través del cual el hombre, perteneciente al orden Primates, adquiere unos rasgos anatómicos peculiares que le distinguen de los otros animales, así como la capacidad de modificar el medio e independizarse en cierta medida de él, con lo que se reduce el sometimiento a las presiones de la selección natural. Estos rasgos afectan primordialmente al bipedismo, la liberación de la mano y a la cerebralización.

- **Bipedismo**. La posición erecta y la marcha bípeda implican una serie de modificaciones esqueléticas que afectan principalmente a la columna vertebral (forma de S), los huesos de la pelvis (que permiten el asiento vertical de la columna) y el particular esqueleto del pie (abovedamiento de la planta la cual permite una gran resistencia de apoyo).
- **Liberación de la mano**. Es una consecuencia del bipedismo que llevó consigo los movimientos de pronación y supinación de las extremidades superiores, la flexibilidad de las articulaciones de los dedos y la capacidad de oposición del dedo pulgar a los demás dedos.
- **Cerebralización**. El desarrollo del cráneo tiene dos aspectos: el aumento de volumen y el desarrollo de las partes de la corteza cerebral implicadas en la actividad inteligente (lóbulo frontal del cerebro). Paralelamente al desarrollo craneal tiene lugar una disminución de la cara y el consiguiente debilitamiento del prognatismo.

La cerebralización va estrechamente ligada a la capacidad de reflexión, que distingue a la especie humana del resto de los animales superiores.

Escaneado con CamScanner

Comunidades y ecosistemas

40

La ecología no adquirió la categoría de ciencia hasta que surgió el concepto de ecosistema, formado por una comunidad biótica y el ambiente físico en el que ésta se desenvuelve. Entre ambos hay un constante intercambio de materia y energía.

Una comunidad biótica o biocenosis está formada por todas las poblaciones que ocupan un hábitat determinado; un ecosistema consta de la comunidad y el ambiente físico abiótico, entre los cuales hay un constante intercambio de materia y energía.

NIVELES TRÓFICOS Y BIOMASA

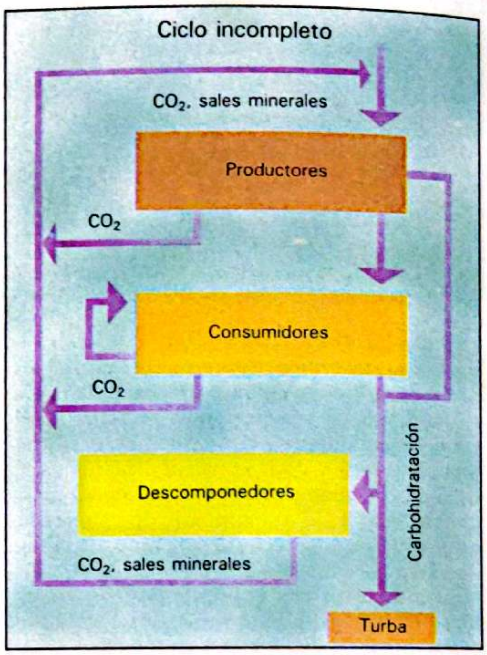
Una comunidad biótica presenta una organización alimentaria definida por varios niveles tróficos, estando formado cada uno de estos niveles por el conjunto de los organismos de la comunidad que tienen el mismo tipo de nutrición.

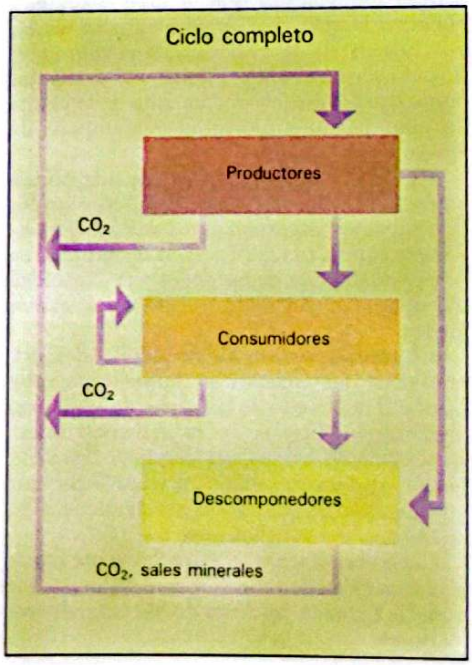
- Los **productores** son los organismos autótrofos (fotosintetizadores y quimiosintetizadores), que sintetizan la materia orgánica a partir de materia inorgánica, constituyendo el inicio de las cadenas tróficas.
- Los **consumidores** son los organismos heterótrofos que se alimentan, directa o indirectamente, de la materia orgánica elaborada por los productores.

Se distinguen los *consumidores primarios*, que se alimentan de vegetales (herbívoros) de los *consumidores secundarios*, que se alimentan de los herbívoros.

- Los **descomponedores** o **desintegradores** son los heterótrofos que se alimentan de la materia orgánica muerta procedente de los productores y los consumidores, siendo la mayoría de ellos bacterias y hongos.

El paso de energía, desde su recepción inicial en las plantas y algas hasta el organismo final, pasando a través de una serie de organismos en la que cada uno se come al precedente y es devorado por el que le sigue, se conoce como **cadena trófica**. Una cadena trófica también puede ser concebida como





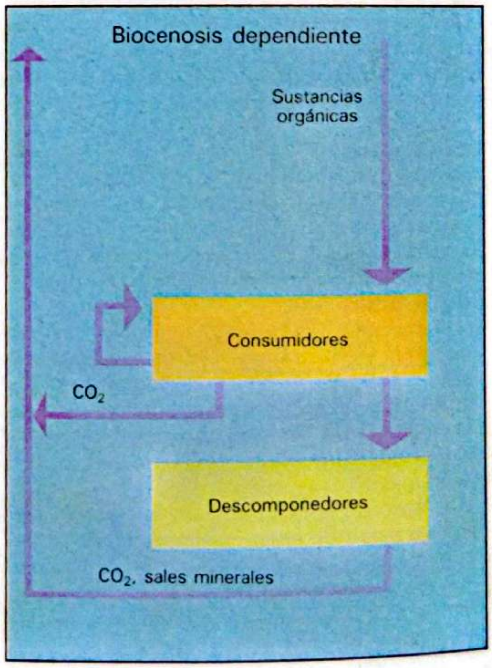
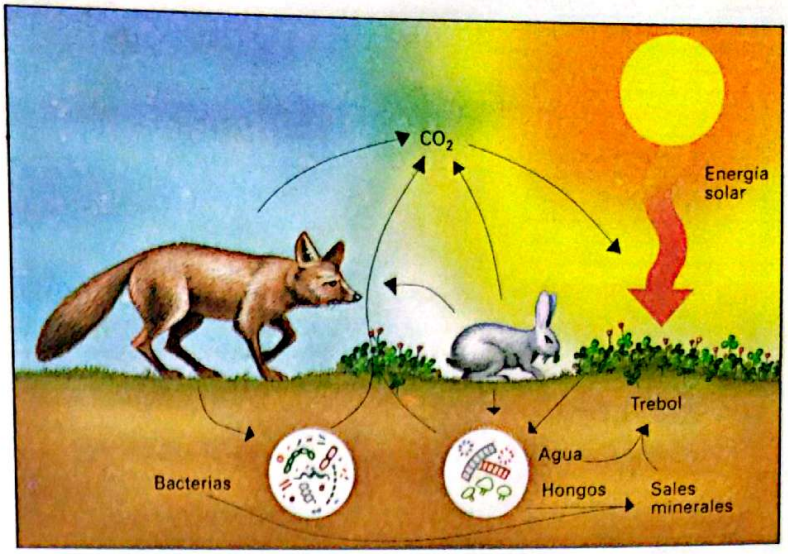


Diagrama del ciclo de las sustancias orgánicas e inorgánicas en tres tipos de biocenosis: arriba, ciclo incompleto; abajo, izquierda, ciclo completo; abajo, derecha, biocenosis dependiente.

Escaneado con CamScanner

una **pirámide trófica** en la que cada uno de los escalones es más pequeño que el anterior, del cual se alimenta. En cualquier comunidad natural existen muchas especies con capacidad de comer cierto número de distintos tipos de alimentos, de modo que las cadenas tróficas se intersectan para formar una especie de trama denominada **red trófica**.

La biomasa es la cantidad de materia viva presente en un momento dado en un ecosistema o en uno de sus niveles tróficos, y se expresa en gramos de carbono por unidad de superficie, o bien en calorías por unidad de superficie. Se llama **producción** de un ecosistema al aumento de su biomasa en un periodo de tiempo determinado (generalmente un año); la *producción primaria* se refiere a la de los productores y la *producción secundaria* a la de los consumidores y descomponedores.



Visión esquemática y simplificada del ciclo de la materia viva en la superficie terrestre.

HÁBITAT Y NICHO ECOLÓGICO

En ecología es útil distinguir entre el lugar donde vive un organismo, en qué lugares específicos se le encuentra, y el papel que desempeña dentro del ecosistema al cual pertenece. El primer concepto se define como **hábitat**, mientras que el segundo recibe el nombre de **nicho ecológico**, que depende de las adaptaciones estructurales, respuestas fisiológicas y comportamiento del organismo.

Un nicho ecológico incluye, por un lado, el papel funcional del organismo como miembro de la comunidad (su posición trófica y el lugar que ocupa respecto a los gradientes de temperatura, humedad, pH y otras condiciones ambientales) y, por otro, depende de lo que dicho organismo hace, es decir, cómo transforma la energía, cómo responde ante su ambiente (físico y biótico), cómo lo modifica, y cómo influyen sobre él las otras especies de la misma comunidad. Cuando dos especies ocupan un mismo nicho ecológico pero en lugares geográficos diferentes se les denomina **equivalentes ecológicos**.

Según el principio de la ecología llamado **ley de Gause o principio de exclusión competitiva**, en una misma región geográfica no puede haber dos especies que ocupen el mismo nicho ecológico: una de las especies acabaría por ser extinguida por la que dispondría de un conjunto de adaptaciones superior para la satisfacción de las demandas de su estilo de vida común.

EVOLUCIÓN ECOLÓGICA: LA SUCESIÓN

Los ecosistemas cambian en el tiempo, de tal modo que, si no se producen perturbaciones bruscas en el clima o intervenciones humanas, tienden a ser progresivamente más complejos mediante un proceso denominado **sucesión**, que conduce al establecimiento de una comunidad madura y estable denominada **comunidad clímax**.

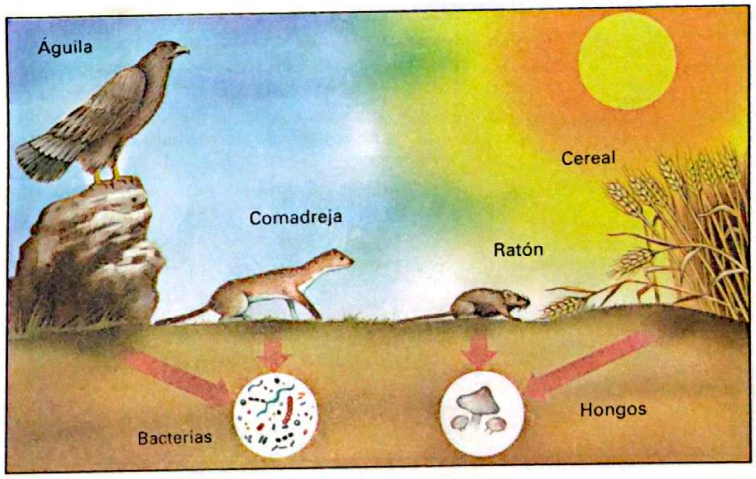
Esta comunidad clímax, teóricamente, ya no sufre cambios si no se la perturba, y el límite de madurez alcanzado puede ser definido como la máxima biomasa en la cual la producción primaria es igualada por la respiración. Cuando se coloniza un hábitat en el que faltan formas de vida precedentes, se habla de *sucesión primaria*; en la *sucesión secundaria* se permite que continúe el desarrollo de una comunidad preexistente cuya sucesión había sido retrasada por una perturbación.

Un proceso lento

En las primeras fases de la sucesión predominan las **especies oportunistas**, de vida corta y rápida dispersión, que poco a poco van dando paso a especies de crecimiento lento pero mejor adaptadas y más resistentes.

A medida que avanza la sucesión, aumenta el número de especies diferentes y disminuye el número de especies dominantes; es decir, aumenta la diversidad. A lo largo del proceso varían las características de la especie predominante.

En un ecosistema maduro, el flujo de la energía es más lento, ya que tiene muchas más etapas y las cadenas alimentarias se alargan. Raramente se llega al clímax, pues existen muchas causas de retroceso, tales como cambios climáticos, incendios, etc. Además, la explotación de un ecosistema por parte del hombre detiene la sucesión.



Relaciones tróficas en un ejemplo simplificado de ecosistema terrestre.

Escaneado con CamScanner

Los ciclos bioquímicos y el flujo de la energía

41

Los elementos fundamentales de la vida están en continua circulación a través de la biosfera, la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera, movidos por la energía solar. De este modo se puede ir reduciendo la vida sin que se agoten los bioelementos.

El funcionamiento de la vida y su constante reproducción requieren la aportación de los bioelementos que, de otro modo, se agotarían en la biosfera. Estos bioelementos, en continua circulación por la tierra, movidos por la energía solar, son: carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo y azufre.

Dinámica del ecosistema

Las **cinco etapas fundamentales** dentro del flujo de materia y energía son:

- **Incorporación** de energía y de materia inorgánica.
- **Síntesis de materia orgánica** a partir de la materia mineral y de la energía.
- **Consumo** de esta materia orgánica por los organismos heterótrofos.
- **Descomposición** de la materia orgánica en compuestos inorgánicos.
- **Transformación** de estos compuestos minerales en otros más simples que puedan ser utilizados por los productores primarios.

La materia, pues, es utilizada dentro del ecosistema en forma cíclica, mientras que la energía se pierde gradualmente a lo largo de todas las etapas descritas en forma de calor o de trabajo, sin que pueda ser reutilizada.

CICLO DEL CARBONO

El carbono es el elemento más ligado al flujo de la energía, ya que las cadenas de carbono almacenan la mayor parte de la energía capturada durante la fotosíntesis.

La fuente de carbono para los organismos es el anhídrido carbónico de la atmósfera y el disuelto en las aguas. Los seres autótrofos transforman este CO_2 en materia orgánica (fotosíntesis y quimiosíntesis), la cual puede seguir tres vías: una parte es oxidada por los mismos organismos autótrofos para obtener energía; otra parte pasa a constituir las estructuras de tales organismos y acaba siendo incorporada a los organismos heterótrofos; otra parte se descompone. Parte del carbono de la materia orgánica puede quedar largo tiempo inmovilizada bajo forma de carbonatos (esqueletos, caparazones), de carbones o de hidrocarburos fósiles, pero al final la materia orgánica es oxidada y el carbono retorna a la atmósfera y las aguas en forma de CO_2.

CICLO DEL OXÍGENO

La fuente de oxígeno para los seres vivos es el aire y el oxígeno disuelto en las aguas. En la fotosíntesis se libera oxígeno molecular por la fotólisis del agua. Parte de este oxígeno se acumula en la atmósfera y parte en la hidrosfera, y es utilizado en los procesos de respiración como aceptor de electrones, reduciéndose a anhídrido carbónico. De este modo, el ciclo del oxígeno y el del carbono se hallan acoplados.

CICLO DEL NITRÓGENO

Casi todo el nitrógeno absorbido por las plantas procede de la descomposición de la materia orgánica, pero las bacterias desnitrificantes regresan parte de él a la atmósfera, lo que produce un déficit neto en el capital de nitrógeno de la comunidad. Las bacterias nitrificantes o fijadoras de nitrógeno atmosférico, en especial las asociadas con las leguminosas, compensan ese déficit.

CICLO DEL FÓSFORO

A diferencia de otros ciclos, el del fósforo no incluye el paso por la atmósfera; la fuente de este bioelemento para los seres vivos son las rocas sedimentarias fosfatadas. La meteorización química de estas rocas da origen al ion soluble ortofosfato que es transportado por las aguas. Una parte de éste es captada por las plantas a través de las raíces y de aquí pasa a los consumidores primarios, y en último término regresa al suelo por descomposición de los restos orgánicos. Otra parte llega al medio acuático, donde puede acumularse en forma insoluble (pH elevado) o bien incorporarse en comunidad biótica oceánica o dulceacnícola.

CICLO DEL AZUFRE

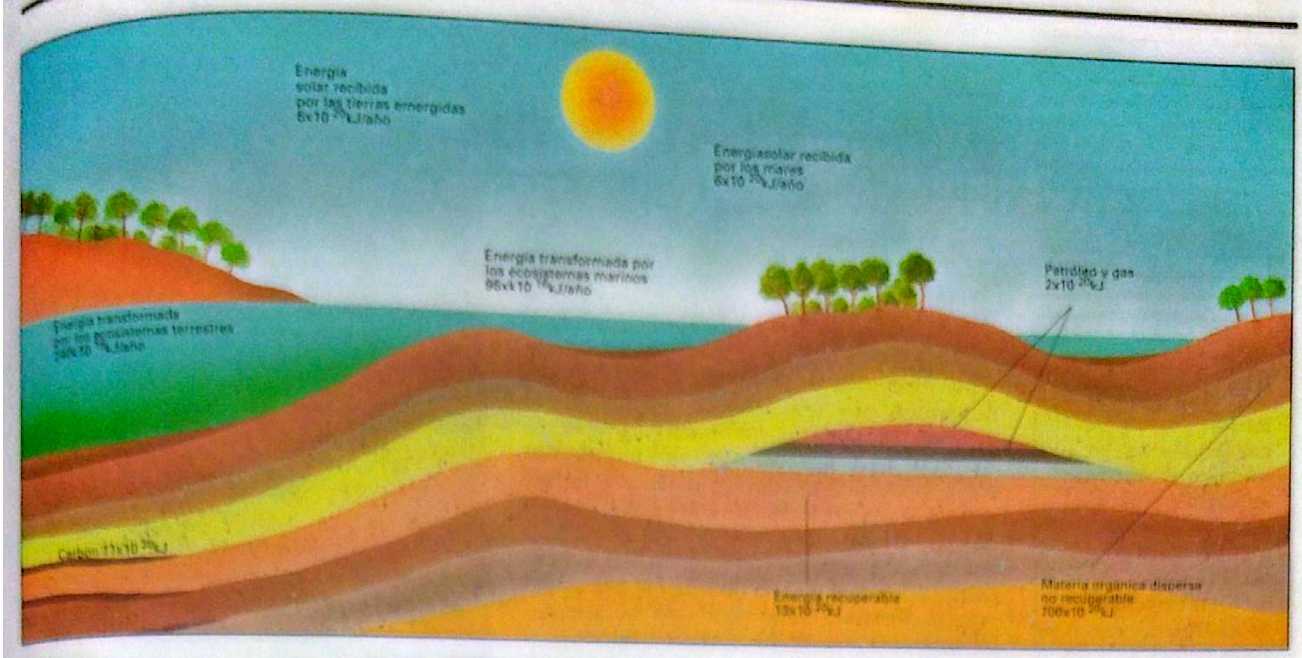
La fuente de azufre para las plantas son los sulfatos solubles del suelo, que son reducidos por éstas a SH_2 y posteriormente incorporado en sus estructuras proteicas, de donde pasa a los organismos consumidores. Los restos de éstos son descompuestos por bacterias específicas que liberan SH_2 (bacterias de la putrefacción), y éste es oxidado y transformado en sulfato por las llamadas sulfobacterias incoloras.

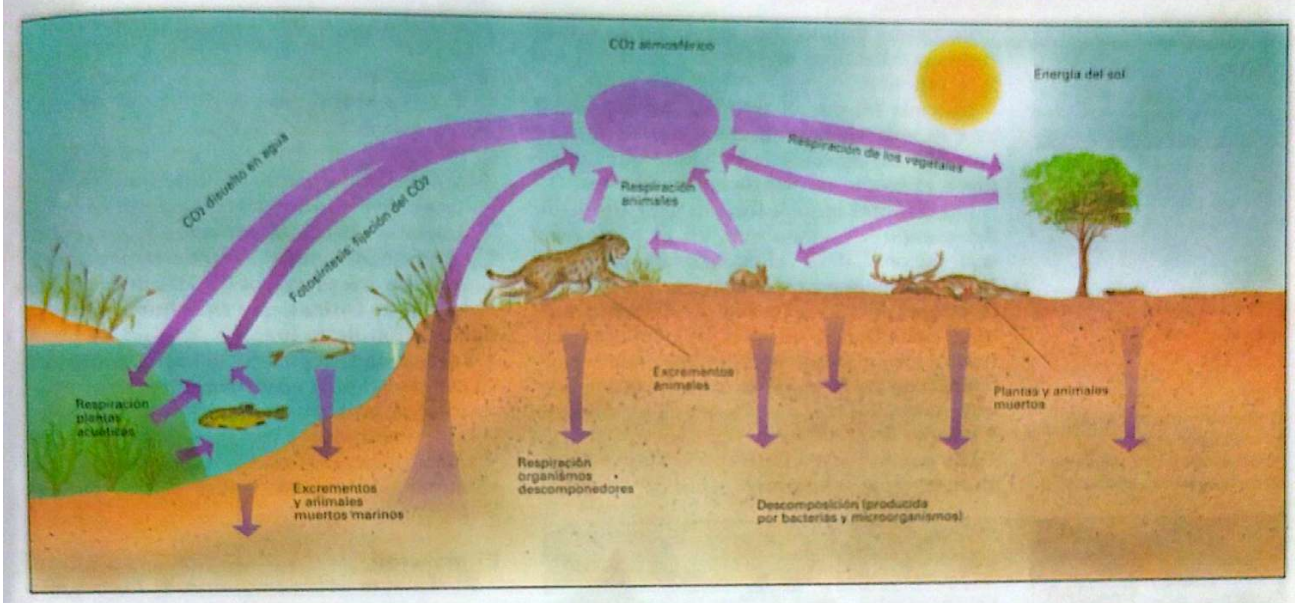
EL FLUJO DE LA ENERGÍA

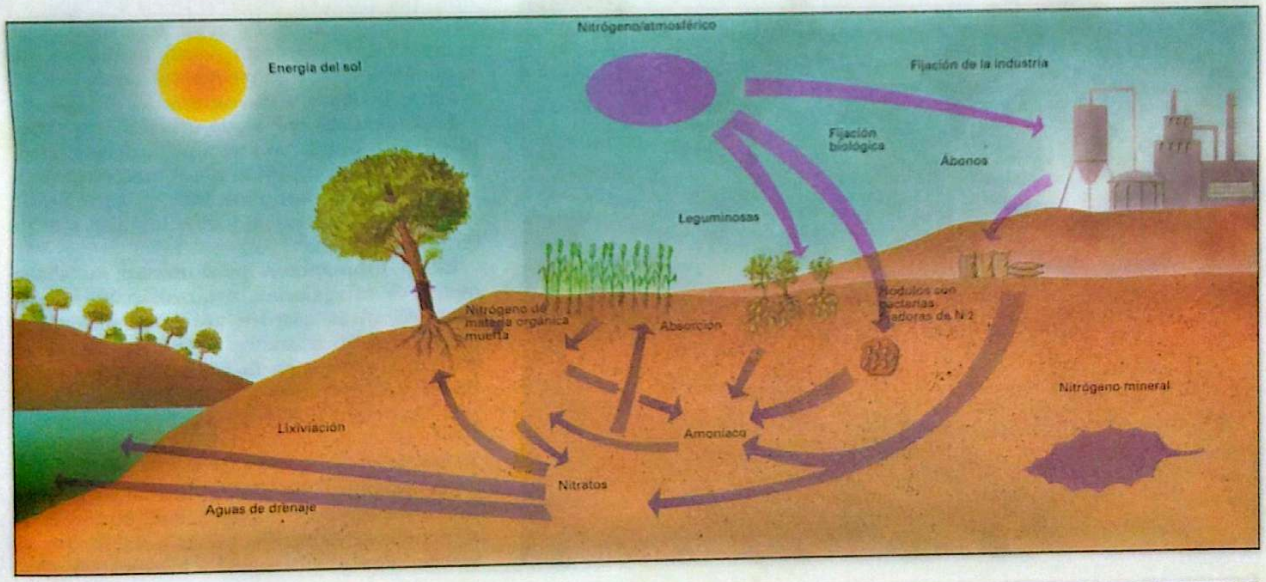
El flujo de energía en los ecosistemas es unidireccional e incluye la transformación de la energía lumínica en energía química (fotosíntesis) y de ésta en calorífica (respiración). Sólo una pequeña parte de la energía solar que llega a la superficie terrestre es utilizada por las plantas en la producción primaria.

Página siguiente: tres esquemas ilustrativos de los ciclos de la energía, del carbono y del nitrógeno.

Escaneado con CamScanner







Escaneado con CamScanner

Biomas terrestres y ecosistemas marinos

42

Atendiendo al tipo de vegetación predominante, los biólogos dividen la superficie emergida del globo en biomas. Para el estudio de los ambientes acuáticos, se distinguen tres tipos principales de ecosistemas: plancton, necton y benton.

LOS GRANDES BIOMAS

Los **dominios biogeográficos** son regiones integradas por continentes enteros o por grandes partes de un continente, que se encuentran separadas del resto del mundo por insuperables barreras geográficas y se caracterizan por la presencia de animales y plantas únicos. Dentro de estos dominios existen enormes comunidades bien definidas y fácilmente diferenciables de otras, a las que se denomina **biomas**, como resultado de complejas interacciones de los factores abióticos y los bióticos.

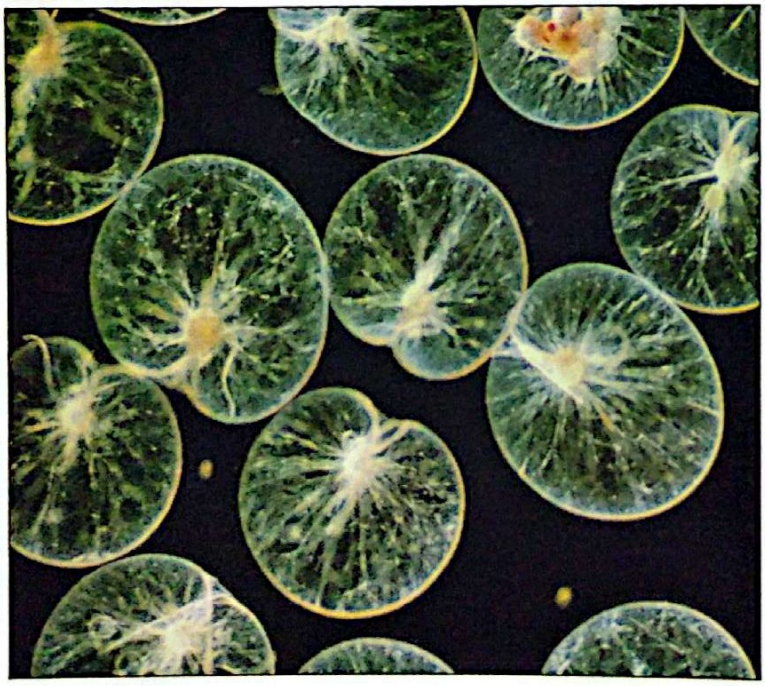
Un bioma es una gran comunidad caracterizada por los tipos de plantas y animales que la componen.

En cada bioma, el tipo de vegetación clímax es uniforme, aunque hay variaciones en cuanto a las especies de vegetales que constituyen el bioma en sus diversas regiones.

Los distintos biomas forman fajas alrededor del mundo, de modo que, en el hemisferio septentrional, desde el ecuador hacia el polo Norte se encuentran sucesivamente bosques tropicales lluviosos, praderas, desierto, bosques caducifolios, bosques de coníferas y la tundra ártica. Desde la costa oriental de Norteamérica hacia el oeste se atraviesan bosques caducifolios, pradera, planicie, desierto y bosque de coníferas.

Las condiciones climáticas en las grandes altitudes son semejantes a las de las grandes latitudes; por lo tanto, el orden en que aparecen los biomas en las pendientes de las montañas altas es parecido al que se encuentra en las zonas bajas en dirección a los polos.

El plancton marino está formado por algas unicelulares y por animales en su mayoría invertebrados.



LOS ECOSISTEMAS MARINOS

En función de su profundidad, los fondos oceánicos se clasifican en:

- **Plataforma continental**. Corresponde a la zona en contacto con el continente, de relieve suave.
- **Talud continental**. Presenta una pendiente muy fuerte y llega hasta los 2.000 m de profundidad.
- **Zona abisal**. Son los fondos de profundidad superior a los 2.000 m.

La región de aguas superficiales situadas sobre la plataforma continental recibe el nombre de **región nerítica**, a partir de la cual se inicia la **región oceánica**, en mar abierto. La fotosíntesis en esta última región sólo es posible en los primeros 50-100 m de profundidad (**zona fótica**), que es el límite medio de penetración de la luz.

Las propiedades físicas del agua, sobre todo su capacidad para absorber la luz, disolver las sustancias polares, transportar sustancias insolubles, resistir los cambios de temperatura y solidificarse con una menor densidad, determinan las características de los hábitats acuáticos.

El plancton

El plancton es la comunidad de los organismos que viven en suspensión en las capas superficiales del agua. En general se trata de organismos de vida corta y muy prolíficos que se mueven de forma pasiva utilizando las corrientes marinas y los vientos.

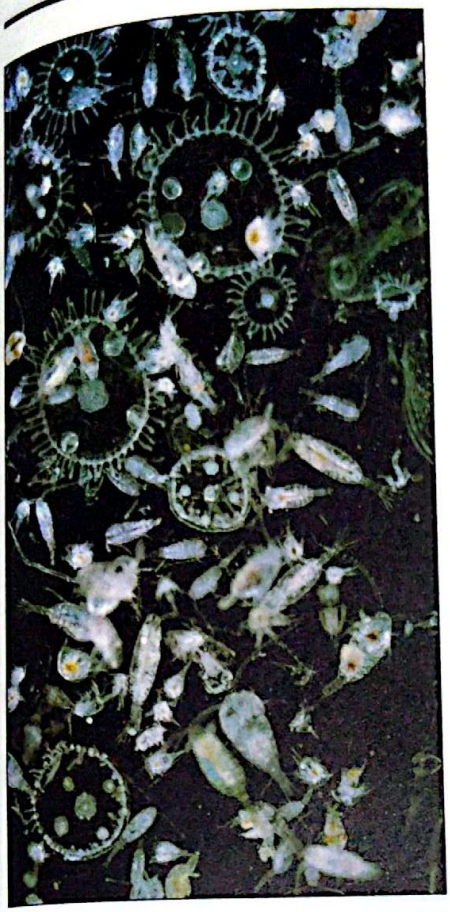
Está formado por algas unicelulares (**fitoplancton**), que llevan a cabo la mayor parte de la producción primaria del medio marino, y por animales (**zooplancton**) en su mayoría invertebrados, unos en forma larvaria y otros en forma adulta.

En el fitoplancton predominan las diatomeas, dinoflageladas, esquizofíceas y feofíceas, mientras que los animales más abundantes del zooplancton son crustáceos, en particular del grupo de los copépodos. Entre las larvas del zooplancton abundan las de equinodermos, celentéreos y moluscos.

El necton

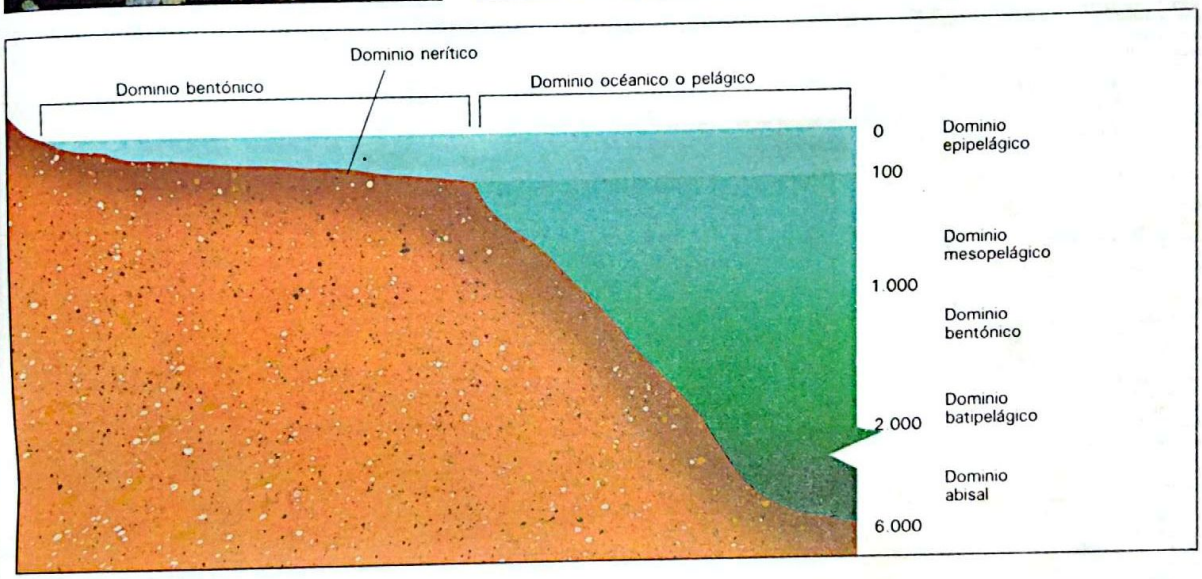
Es la comunidad biótica formada por organismos que pueden desplazarse de forma independiente, como los peces, cefalópodos, algunos reptiles (tortugas) y los cetáceos.

Escaneado con CamScanner



ORGANISMOS TÍPICOS DE LOS PRINCIPALES BIOMAS

Bioma	Organismos típicos	
	Plantas:	Animales:
Tundra	– musgos – brezos	– mosquitos – búho de las nieves – oso polar – zorro ártico – buey almizclero – caribú – lemming – armiño – comadreja – liebre polar
Taiga	– coníferas – algunas especies caducifolias	– aves granívoras – halcones – armiño – marta – oso – puma – tigre de Siberia – lobos
Bosque templado caducifolio	– árboles caducifolios – arbustos varios	– muchos vertebrados e invertebrados
Bosque tropical lluvioso	– están representados prácticamente todos los fila	– están representados prácticamente todos los fila
Praderas	– gramíneas	– riqueza de aves, herbívoros y roedores – lobos
Desiertos	– cactos – euforbiáceas	– muchos reptiles y mamíferos – pocas aves



El bentos

Es el conjunto de los organismos que viven en el fondo marino, fijos, desplazándose o adheridos al sustrato. El bentos vegetal contribuye a la producción primaria del océano, aunque en una proporción muy baja, y está compuesto por algas y fanerógamas marinas.

El bentos animal está formado por organismos filtradores o bien que se alimentan de sedimentos, que se nutren en gran medida del exceso de producción de las zonas superiores.

Las comunidades hidrotermales oceánicas

Las comunidades hidrotermales están compuestas únicamente por animales que viven en torno a las fuentes hidrotermales asociadas a la actividad volcánica de las dorsales oceánicas y que, por tanto, no dependen de la energía solar ni de la fotosíntesis.

Los productores primarios de estas comunidades son bacterias quimiosintéticas que obtienen la energía oxidando los compuestos de azufre de las aguas termales y transforman el carbono inorgánico en orgánico.

Arriba, izquierda, zooplancton o comunidad de animales que viven en suspensión en las capas superficiales de las aguas.

Izquierda, Corte del talud continental, zona de transición entre la plataforma continental y la zona abisal.

Escaneado con CamScanner

Índice de materias

Las cifras en redonda significa que la voz correspondiente se localiza en el texto, las indicadas en cursiva responden a voces mencionadas en los pies de ilustración o en las leyendas de los dibujos.

A
Aberraciones cromosómicas, 92
Aceites, 25
Acelomados, 17, 18, *18*
Acetil-CoA, 54, 55, 56
Ácido abscísico, 31
Ácido ascórbico, *31*
Ácido cianhídrico, 12
Ácido cítrico, ciclo del (v. ciclo de Krebs)
Ácido desoxirribonucleico (v. ADN)
Ácido fosfórico, 27
Ácido nucleico, 13, 27, 28, *28*, 61, 90, 101
Ácido nucleico, catabolismo de, 57
Ácido nucleico, filamento de, 12, 13
Ácido ribonucleico (v. ARN)
Ácido úrico, 57
Ácidos grasos, oxidación de, 56
Ácidos grasos esenciales, 25
Ácidos grasos no saturados, 25, *25*
Ácidos grasos, 25, 27, 31, 54, 55, 60
Ácidos grasos saturados, 25, *25*
Actina, 47
Adaptación, 8, 9
Adenina, 28, *29*
ADN, 21, 28, 29, *29*, 36, 37, *37*, 40, 41, 61, *61*, 73, 82, 86, 90, *91*, 93
ADN, cadenas de, 90, *91*
ADN complementario, 96
ADN, mecanismos de reparación, 91, 93
ADN, molécula de, 16, 91, 94, 96
ADN-polimerasa, 90, 91
ADN recombinante, 96, 97
ADN, síntesis de, 90
ADP, 56, 57, *57*
Agua, 22, *22*, 50
Albumen, 83
Albúmina, 15, 27
Alelo, 86, 87, 88, 95, 99
Alelo dominante, 86, *86*, 89
Alelo recesivo, 86
Alelomorfos, 86
Alergenos, 65
Alergias, 65,
Algas, 17, 44, 75, 81, 109
Algas eucariotas, 17
Algas pardas (v. Feofitas)
Algas rojas (v. Rodofitas)
Algas verdes (v. Clorofitas)
Algas verdeazules (v. Cianobacteria)
Almidón, 24, 60, *60*
Alternancia, 80, *80*, *81*
Alternancia antitética, 80, 81
Ambiente físico abiótico, 104
Ameboide, 66
Aminoácido, 13, 26, 30, 31, 54, 55, 57, 58, 60, 91
Aminoácido, determinación secuencia de, 15
Aminoácidos, activación de, 61
Aminoácidos esenciales, 26, 61
Aminoácidos, oxidación de, 57
Amitosis, 72
Anabolismo, 9, 58
Anabolismo autótrofo, 58, 59
Anabolismo heterótrofo, 60
Anafase, 73
Anafilaxia, 65
Análisis bioquímico, método de, 33
Anastomosis, 39
Androceo, 77
Anélidos, 9
Aneuploidía, 92, *92*
Anfigonia, 80
Anfipático, 38
Angiospermas, 18, 81
Anhídrido carbónico, 50, 62, *62*, 106
Animales, 15, 17, 18, 49, 50, 61, 77, 83
Animales, excreción en, 62
Animalia (v. Animales)
Aniones, *22*
Anisogamia, 76
Anteras, 81
Anteridios, 77
Anterozoide, 76
Anticuerpo, *26*, 64, *64*, 101
Antígeno, *64*, 65, 101
Antígenos tumorales, 65
Aparato, 10, 46
Aparato circulatorio, 52
Aparato de Golgi, 34, *34*, 35
Aparato digestivo, 51
Aparato excretor, 62, *63*
Aparato genital, 64
Aparato neuromotor, 42
Aparato urinario, 64
Apareamiento, 77
Aplanosporas, 75
Apoenzima, 30
Aprendizaje, 70
Aprendizaje con recompensa, 70
Aprendizaje por comprensión, 71
Árbol genealógico, 14
Aristóteles, 20
ARN, 28, 41, 61, 90, 94, 95, 96
ARN de transferencia, 29, *29*
ARN, formación del, 91
ARN, maduración del, 91
ARN maduro, 91
ARN mensajero, 29, *61*
ARN, molécula de, 91, *91*
ARN-polimerasa, 90, 91
ARN recombinante, 96
ARN ribosomal, 29, *37*
ARN, síntesis del, *21*, 91
Arquegonio, 77, 81
Arqueozoica, 102
Arrenotoquia, 79
Artrópodos, 17, 18, 53
Ascon, *18*
Atmósfera, 106
Atmósfera actual, 12
Atmósfera primitiva, 12, *12*
Atmósfera terrestre, 12
Átomo, 10, *11*
ATP, 54, 55, 56, 57, *57*, 58, 59, 60, 61
Autoduplicación, 41
Autoensamblaje, 41
Autohistocompatibilidad, 65
Autoinmunidad, 65
Autorradiografía, 33
Autorreplicación, 74, 96
Autoselección, 13
Autosomas, 89, *92*
Auxina, 31
Aves, 18
Avitaminosis, 30
Axón, 47, 67
Azúcares, 13, 24, 58
Azufre, 22, 106, 109
Azufre, ciclo del, 106

B
Bacilos, *41*
Bacteria, 15, 16, 17, *33*, 36, *41*, 49, 58, 59, 64, 94, *94*, 95, *95*, 104, 106, 109
Bacteria dadora, 95
Bacteria receptora, 95
Bacterias púrpura, 48
Bacterias sulfurosas verdes, 48
Bacteriófagos, 41, *94*, *95*
Base nitrogenada, 57, 91, *91*
Base nitrogenada pirimídica, 28, 90, 93
Base nitrogenada púrica, 28, 90, 93
Bentos, 109
Bentos animal, 109
Bentos vegetal, 109
Bicapa lipídica, 38, 39, *53*
Biocatalizador, 23, 30
Biocenosis, 104, *104*
Bioelemento, 22, 106
Bioética, 21
Biofagia, 49
Biología experimental, 20
Biología molecular, 10, 21
Biomas, 108
Biomasa, 104
Bioquímica, 21
Biosfera, 13, 17, *22*, 102, 106, *106*
Biotecnología, 21, *97*
Bipartición, 72, 74
Bipedismo, 103
Blastocele, 84
Blastodermo, 84
Blastómeros, 84
Blástula, 84
Bolsa oleífera, *63*
Branquias, 52, 63
Briofitas, 17, 44, 81, 102
Buffon, conde, 20

C
C (v. Carbono)
Ca (v. Calcio)
Cadena trófica, 104
Caldo primitivo, 12, *12*, 13
Calor, 12
Cambio, 45
Cámbrico, 102
Canales lactíferos, *63*
Cápside, 41
Capsómeros, 41
Carácter hereditario, 87, *88*
Caracteres adaptativos, 101
Caracteres constitucionales, 101
Caracteres ligados al sexo, 89
Carbohidratos, 22, 24, *24*, *26*, 60
Carbohidratos, anabolismo de los, 60
Carbohidratos, catabolismo de, 56
Carbonífero, 102
Carbono, 22, *22*, 58
Carbono, cadenas de, 106
Carbono, ciclo del, 106
Carbono, quimiosíntesis del, 59
Carbono asimétrico, 26
Carencia vitamínica (v. Avitaminosis)
Caretenoides, 25
Cariogamia, *77*, 78
Cariotipo, 37
Cariotomía, 72
Cartílago, 46
Caseinógeno, 27
Catabolismo, 9, 54, 60, 62
Categoría taxonómica, 14
Cationes, *22*
Cefalocordados, 17, 18
Celoma, 18, 85
Celomados, 18, *19*
Célula, 8, 23, 32, *33*, *34*, 54, 60, 64, 78
Célula diana, 66, 69
Célula eucariota, 32
Célula hija, 72, 73, 93
Célula huésped, *40*, 95
Célula madre, 72
Célula oleífera, *63*
Célula plasmática, 65
Célula plurinucleada, 36
Célula procariota, 32, 34
Célula sexual, 74
Célula totipotente, 74
Células nerviosas sensoriales, 67
Células sensoriales, *67*
Células sensoriales secundarias, 67
Celulosa, 24, *38*, 39
Cenozoica, 102
Centriolos, 33, *34*, 35
Centrómero, 37
Centrosoma, 35
Cerebralización, 103
Cianobacteria, 15, 16, 17, 40, *41*
Ciclo biológico, 79
Ciclo de Calvin, 58
Ciclo de Krebs, 55, *55*, 56, *56*, 57, 60
Ciclo de la urea, 57
Ciclo diplo-haplonte, 79
Ciclo diplonte, 79
Ciclo haplonte, 79
Ciclos bioquímicos, 106, *106*
Cigoto, 8, 37, 74, 76, 78, 79, 80, 82, 83, *83*, 84
Ciliados, 17
Cilindroeje, 47
Cilios, 35, 42
Cinc, 22
Circulación, 48, *52*
Cistrón, 94
Citocininas, 31
Citoplasma, 34, 42, *61*, 69, 72, 77, 84
Citoplasma gelatinoso, 10
Citosina, 28, *29*
Cl (v. Cloro)
Clase, 14
Clon, 74
Clonación molecular, 95, 96
Clonal, 74
Clorénquima, 45
Cloro, 22
Clorofila, 16, 27, 58
Clorofita, 17
Cloroplastos, *34*, 35
Cnidarios, 17, 18
Co (v. Cobalto)
Coacervados, *12*, 13
Cobalto, 22
Cobre, 22
Código genético, 21, 26, 29, 61, 90, *91*
Codominación, 88
Codón, 29
Codón de terminación, 61
Coenzima, 30
Colágeno, 27
Colénquima, 45
Colonia, 42
Complejo antígeno-anticuerpo, 65
Complejo de iniciación, 61
Complejo enzima-sustrato, 30
Comportamiento social, 71
Comunicación, 71
Comunidad, 10, 11, *11*, 104, 106
Comunidad biótica, 104, 108
Comunidad clímax, 105
Comunidades hidrotermales oceánicas, 109
Condrocitos, 46
Conductos de Havers, 47
Conjugación, *78*, 95, 96
Conjugantes, 78
Constricciones secundarias, 37
Consumidores, 104
Consumidores primarios, 104, 106
Consumidores secundarios, 104
Consumo, 106
Contráctiles, 66
Conversión lisógena, 41
Cooperación, 71
Coprofagia, 49
Corazón, 53
Cordados, 17, 18, 102
Cordón nervioso, 18
Cormo, 44
Corpúsculo basal, 35
Corpúsculo sensitivo, 67
Cortejo, 71
Cósmidos, 96
Cotiledones, 83
Crecimiento, 8, *9*, 82
Cretácico, 102
Crick, H., 21
Criptozoico, 102
Crisofitas, 17, 43
Cromátides, *36*, *37*
Cromatina, 36
Cromatóforos, 40
Cromonema, 36
Cromoplastos, 35
Cromoproteínas, 27
Cromosomas, 28, 36, *36*, *37*, *71*, 73, 76, 78, 86, 88, 89, *89*
Cromosomas homólogos, 37, 86, 88, 89, 92
Cromosomas, juegos de, 37, *89*
Cromosomas sexuales, 89, *89*
Ctenóforos, 17, 18
Cu (v. Cobre)
Cuaternario, 103
Cultivo *in vitro*, 33

D
Darwin, Charles Robert, 20, 99
Defensa del territorio, 71
Defensa y cuidado de la prole, 71
Deleción, 93
Dendritas, 47, 67
Depredación, 71
Deriva génica, 98, 100
Desarrollamiento, 90
Desarrollo, 8, *9*
Desarrollo directo, 85
Desarrollo embrionario, 82, 83, *83*
Desarrollo indirecto, 85, *85*
Desarrollo postembrionario, 82, 85
Descomponedores, 49, 104
Descomposición, 106
Desintegradores, 104
Desmosomas, 39
Desoxirribosa, 24, 28, 60
Determinación, 82
Deutorostomados, 17, 18, *19*
Devónico, 102
Dictiosomas, 34, *34*
Diferenciación, 82, *82*, 85
Difracción por rayos X, método, 33
Difusión, 53
Difusión directa, 52
Digestión, 48, 50, 51, 60
Digestión extracelular, 51
Digestión intracelular, 51
Dimorfismo sexual, *79*
Dioscórides, 20
Diplococo, *41*
Diploide, 37, 73, 79, 89
Dirección migratoria, 71
Disacáridos, 24, *25*
Disminución de la agresividad, 71
Diversificación, 98
División del trabajo, 71
División directa, *72*
División múltiple, 72, 74
Dioicas, 77
Dominio, 16, 17
Duplicación, 93

E
Ecología, 8, 104
Ecosistema, 11, *11*, 104, 105, *105*, 106
Ecosistema marino, 108
Ectodermo, 47, *84*, 85
Ectoplasma, *39*
Efecto de embotellamiento, 100
Efecto del fundador, 100
Electrón, 10, 56
Embriogénesis, 82
Embriología, 82, 101
Embrión, 78, *78*, 82, 83, 84
Endocitosis, 35
Endodermo, 18, 46, *84*, 85
Endonucleasa, 91, 96
Endoplasma, *39*
Endospermo, 78
Endospermo secundario, 83
Energía solar, 106, 109
Enlace covalente, 22, 30
Enlace fosfato, 48
Enlace glucosídico, 24
Enlace peptídico, 26
Entrecruzamiento, 73
Enzima, 13, 16, 22, 23, 26, *26*, 27, 30, 56, 90, 94, 95
Enzima coordinadamente reprimida, 94
Enzima descarboxilasa, *31*
Enzima oxidasa, *31*
Enzima-producto (EP), *31*
Enzima-substrato (ES), *31*
Enzimas de restricción, 96
Enzimología, 21
Eoceno, 103
Eones, 102
Epidermis, 45
Epigenista, 20
Epitelio, 46
Epitelio de revestimiento, 46
Epitelio de superficie, 46
Epitelio glandular, 46
Equinodermos, 17, 18
Equisetos, 18
Equivalentes ecológicos, 105
Era, 102
Escisión, 75, 80
Esclerénquima, 45
Escorbuto, *31*
Espacios aeríferos, 50
Especiación, 14
Especie, 14, *15*
Espermatogénesis, 77
Espermatozoide, 76, 77, 78, *79*, 81, 89
Espirilos, *41*
Esponjas (v. Poríferos)
Espora, 17, 75, 79
Esporangio, 75, 81
Esporofito, 18, 79, 81, *81*
Esporozoos, 17
Esporulación, 75
Estafilococos, *41*
Esteroides, 25, 31
Estigma, 78
Estilo, 78
Estomas, 45, 50, 62
Estreptococo, *41*
Estrobilación, 80
Etileno, 31
Etología, 70
Eubiontos, 13
Eucariota, 15, 16, *16*, 17, 32, *32*, *42*, 91, 94, 102
Eumicofitos, 17
Evolución, 8, *13*, 98
Evolución, mecanismos de la, 98
Evolución, pruebas de la, 101
Evolución abiótica, 12
Evolución ecológica, 105
Evolución química (v. Evolución abiótica)
Excreción, 62, *63*
Exones, 91

F
Factor Rh, 65
Fago, 41, 95
Fagocito, 51, 64, *65*
Fagocitosis, 51, 64, 65, *65*
Familia, 14
Fanerozoico, 102
Fase luminosa, 58
Fase oscura, 58
Fe (v. Hierro)
Fecundación, *76*, 77, *77*, *78*, 82, 84, 95, *95*
Fecundación externa, 77
Fecundación interna, 77
Felógeno, 45
Fenotipo, 86, 87, 88, 95, 99
Feofita, 17
Fermentación, *21*, 49, 54
Ferrobacterias, 49, 59
Fibras, 47, 69
Fibras colágenas, 46
Fibras de reticulina, 46
Fibras elásticas, 46
Fibrinógeno, 27
Fijación, 41
Fila (v. *Phyla*)
Fitoplancton, 108
Flagelo, 35, 40, 42, 75, 77
Floema, 45, 50
Flujo de información, 67
Flujo de la energía, *48*, *49*, 106
Flujo génico, 100
Formaldehído, 12
Fosfodiéster, puentes de, 28
Fosfolípidos, 25
Fosfoproteína, 27
Fosforilación oxidativa, 55, 56, *56*, 57

Fósforo, 22, 106
Fósforo, ciclo del, 106
Fósil, 102
Fotofosforilación, 58
Fotorrespiración, 59
Fotosíntesis, 48, 58, *58*, *59*, 106, 108, 109
Fragmentación (v. Escisión)
Frecuencias génicas, 98
Fructosa, 24
Función glucogénica-glucémica, 60
Función hormonal, 69
Fungi (v. Hongos)

G
Galactosa, 24
Galeno, 20, *20*
Gametangios, 76
Gameto, 8, 73, 74, 76, 77, 78, 79, *79*, 86, *87*, 92, 95, *95*
Gametofito, 17, 79, 81
Gammaglobulina, 64
Gastrulación, 84, *84*, 85
Gemación, 72, 74, 80
Gémula, 75, 83
Gen, 37, 76, 86, 88, 96, 99, 100
Gen mutante, 93, 98
Gen recesivo, 93
Gen silvestre, 93
Generación espontánea, 20
Generación filial, 87, 88
Generaciones, alternancia de, 42
Género, 14
Genes estructurales, 94
Genes letales, 93
Genes operadores, 94
Genes reguladores, 94
Genética, 20, 86
Genética bacteriana, 86, 95
Genética de poblaciones, 98
Genética molecular, 94
Genoma, *93*, 96
Genoma mixto, 95
Genotecas, 96
Genotipo, 86, 87, 88, 95, 98
Germinación, 83
Giberelinas, 31
Gimnospermas, 18, 81, 102
Gineceo, 77
Glándulas antenales, 63
Glándulas de secreción interna, 23, 69
Glándulas endocrinas, 23, 66
Glándulas salíferas, 62
Glándulas sudoríparas, 9
Glándulas verdes, 63
Glicerina, 54, 60
Globulina, 27
Glóbulos blancos, *26*, 47
Glóbulos rojos, *26*, 47
Glúcido, 27, 56
Glucocáliz, 39
Glucogénesis, 60
Glucógeno, 24, 60
Glucogenólisis, 60
Glucólisis, 54, *55*, 56, *56*
Glucoproteína, 24, 27, 39
Glucosa, 24, 54, *54*, 55, 59, 60, *60*
Gónada, 76, 77
Grasa, 25, 56
Grasas neutras (v. Triglicéridos)
Grupo fosfato, 28, 57
Grupo prostético, 27
Grupos sanguíneos, 65
Guanina, 28, *29*
Gutación, 62

H
H (v. Hidrógeno)
Hábitat, 104, 105
Haploide, 37, 73, 79, 89
Helecho, 18, 75
Hemimetábolo, 85
Hemoceloma, 53
Hemocianina, 27
Hemoglobina, 15, 27
Hepáticas, 17
Herencia, 8, 9, 86
Herencia dominante, 86, *86*, *87*, 88
Herencia intermedia, 86, *87*, 88
Herencia polímera, 92
Hermafrodita, 77, *77*
Hermafroditismo, 77
Hervey, William, 20
Heterocigosis, 86
Heterocigótico, 86, *86*, 88
Heterogonia, 80
Heteroproteína, 27
Hexosa, 24, 54
Hialoplasma, 34
Hialuronidasa, 78
Hibridación introgresiva, 101
Híbrido, 86
Hidrógeno, 22, 106
Hidrógeno, puentes de, 22, *26*, *27*, 28, 90
Hidrolasa, 50
Hidrólisis, 50
Hidrosfera, 106
Hidrosoluble, 31
Hierro, 22
Hifa, 17, 75
Hipersensibilidad, 65
Hipócrates, 20
Hipófisis, 69
Hipotálamo, 69
Histiocito, 64
Histocompatibilidad, 65
Histona, 27, 36
Hojas embrionarias, 84, *84*, 85
Holley, *29*
Holoceno, 103
Holoenzima, 30
Holometábolo, 85
Holoproteína, 27
Homeostasis, 9, *9*
Hominización, 103
Homocigosis, 86, *86*
Homocigótico, 86, 88
Homología, 14
Hongo, 15, 16, *17*, 44, 49, *49*, 64, 75, 95, 104
Hongos gelatinosos, 17
Hongos verdaderos, 17
Hormona, 22, 23, 26, *26*, 27, 30, 31
Hormona animal, 31
Hormona esteroide, 69
Hormona, naturaleza de, 69
Hormona proteínica, 69
Hormona vegetal, 31
Huésped, 49, 96
Huevo centrolecito, 84
Huevo Heterolecito, 84
Huevo isolecito, 84
Huevo telolecito, 84
Huso acromático, 35

I
I (v. Yodo)
Idiograma, 37
Impresión, 70
Impulso nervioso, 67
Incorporación, 106
Infección, *21*, 64
Inflamación, 64
Ingeniería genética, 21, 95, 97
Ingestión, 48
Iniciación, 91
Iniciador, 90
Inmunidad, 65
Inmunidad mediada por células, 65
Inmunoglobulina, 27, 67
Instinto, 70
Insulina, 60, *60*
Integración, 67
Intercambio genético, 76
Interferón, 64, 65
Intrones, 91
Inversión, 93
Invertebrados, 31, 69, 79
Ion, 106
Irritabilidad, 9
Isogamia, 76
Isopreno, 25

J
Jerarquías de dominancia, 71
Jurásico, 102

K
K (v. Potasio)
Kornberg, A., *21*

L
Lactosa, 24, *24*
Larva, 85
Latencia, 83
Lenticela, 50, 62
Leucocito, 64
Leucon, *18*
Leucoplasto, 35
Ley de equilibrio de Hardy-Weinberg, 98
Ley de Gause, 105
Ley del todo o nada, 67
Ley fundamental de la biogenética, 101
Leyes de Mendel, 86, *87*, *87*, 88, *88*
Liberación, 41, 61
Liberación de la mano, 103
Licopodio, 18
Ligamiento, *89*
Ligasa, 96
Lignina, 39
Linfa, 53, 60
Linfocitos B, *64*, 65
Linfocitos T, 65
Linneo, 14, *14*, 20
Lípidos, 22, 24, *24*, 25, *25*, *26*, 54, 60
Lípidos, anabolismo de, 60
Lípidos, catabolismo de, 56
Lípidos polares, 25
Lipoproteína, 25, 27
Liposoluble, 31
Líquidos intersticiales, 62, 63
Lisosoma, 33, 35, 64, *65*
Lisozima, 41
Litosfera, 106
Locus, 86
Lorenz, Konrad, 70

M
Macroevolución, 101
Macrófago fijo, 64
Macrogameto, 76, 77
Macromolécula, 10, 13, 28, 30, 60, 65
Macromutaciones, 101
Macrospora, 81
Magnesio, 22
Maltosa, 24
Mamíferos, 17
Manganeso, 22
Manipulación genética, 97
Mastigóforo, 43
Medio abiótico, 11
Medusa, 80
Meiosis, 72, 73, *73*, 76, *78*, 79, 88, 89, 92, 93, 95
Membrana celular, 10, 32, 38, 39, 53, *53*, 63, 67
Membrana de secreción, 39
Membrana elemental, 39
Membrana nuclear, 36
Membrana plasmática, 38, *39*, 40, 42
Membrana unitaria, 39
Membrana universal, 39
Membrana vitelina, 78
Mendel, G., 20, 86, 87, 88
Mensajeros químicos, 66
Meristemo, 82
Meristemo primario, 44, 75
Meristemo secundario, 45
Mesodermo, 18, 47, *84*, 85
Mesosoma, 40
Mesozoica, 102, *103*
Metabolismo, 9, 48, *48*, 54, *57*, 64
Metafase, 73
Metagénesis, 80
Metalporfirina, 27
Metamorfosis, 85
Metamorfosis complicada, 85, *85*
Metamorfosis sencilla, 85, *85*
Metanefridio, 63, *63*
Metazoo, 102
Mezcla de poblaciones, 98, 100
Mg (v. Magnesio)
Micelio, 17
Micoplasma, 40
Microbiología, 20, *21*
Micrococo, 41
Microevolución, 101
Microfilamento, 34
Microgameto, 76
Microscopio electrónico, 20, 21, 32, 33, *34*
Microscopio electrónico de barrido, 33
Microscopio óptico, 10, 32, 33
Microtomo, 33
Microtúbulo, 34
Microvellosidad, 39
Migración, 71, 100
Mioceno, 103
Miofibrilla, 47
Mionema, 42
Miosina, 27, 47
Mitocondria, 35, *35*, 55, 56, 59
Mitosis, 31, 37, 72, *72*, 73, *73*, 74, 78, 84
Mixomicofita, 17
Mn (v. Manganeso)
Modalidad de conducta, 71
Moho (v. Hongo)
Molde, 90, *91*
Moléculas virales, síntesis de, 41
Molusco, 17, 18, 53
Monera, 15, 16, 17
Mongolismo, *92*, 93
Monofiléctico, 14
Monoica, 77
Monosacárido, 24, *60*
Monosomía, 93
Morfogénesis, 82
Mórula, 84
Movimiento endocelular, 66, *66*
Mucosa, 64
Multiplicación celular, 72, 74, 82
Músculo, 66, *67*
Músculo cardíaco, 47
Músculo liso, 47
Músculo visceral, 47
Músculos esqueléticos, *46*, 47
Músculos estriados, *46*, 47
Musgo, 17, *19*, 75
Mutación, 8, 29, 92, 93, *93*, 94, 98, 99, 100
Mutaciones cromosómicas, 92, 93
Mutaciones de corrimiento, 93
Mutaciones génicas, 92, 93
Mutaciones genómicas, 92
Mutaciones progresivas, 93
Mutaciones regresivas, 93
Mutón, 94

N
N (v. Nitrógeno)
Na (v. Sodio)
NDAPH, 54, *57*
Necesidad de migrar, 71
Necrofagia, 49
Necton, 108
Nefrona, 63
Nematodos, 17, 18
Nemertinos, 17, 18
Nervio, 47
Neuroglia, 47
Neurohormona, 66
Neurona, 47, 66, 67, 69
Neurotransmisor, 66
Neutrón, 10
Nicho ecológico, 104, 105
Nitrobacteria, 49, 59
Nitrógeno, *12*, 22, 106
Nitrógeno, ciclo del, 106
Nitrógeno, quimiosíntesis del, 59
Nivel trófico, 104, *105*
Notocorda, 18
Núcleo, 32, 36, *39*, 42, 72, 77, 91
Núcleo espermático, 81
Nucléolo, 37, *71*
Nucleoplasma, 32, 36
Nucleoproteína, 27
Nucleósido, 28
Nucleosoma, 36
Nucleótido, 28, 91
Nutrición, 48, 104
Nutrición anaerobia, 13
Nutrición autótrofa, 48
Nutrición heterótrofa, 13, 48, 49
Nutriente, 9, 54, 60

O
O (v. Oxígeno)
Ochoa, Severo, *21*
Oligoceno, 103
Oligoelemento, 22, *22*
Oligosacárido, 24
Onicóforos, 17, 18
Ontogenia, 82
Oogamia, 76
Oogénesis, 77
Oogonios, 77
Oosfera, 76, 77, 78, *78*, 81, 83
Oparin, A. I., 13
Operón, 94
Orden, 14, *15*
Ordovicense, 102
Organismo autótrofo, 104, 106
Organismo diplonte, 86, 95
Organismo haplonte, 86, 95
Organismo heterótrofo, *12*, 104
Organizador nuclear, 37
Órgano, 8, 10, 46
Organogénesis, 85
Órganos análogos, 101, *101*
Órganos de los sentidos, 67
Órganos efectores, 66
Órganos homólogos, *100*, 101
Orgánulo, 10, 34
Órganos nefridiales, 63
Órganos receptores, 66
Órganos sexuales, 76, 77
Órganos vestigiales, 101, *101*
Orgánulo subcelular, 32
Orientación, 71
Orina, 63
Osmorregulación, 62, 63
Ósmosis, 53, *53*, 63
Osteocito, 47
Ovario, 77
Óvulo, 76, 77, 78, 79, *79*, 81, 82, 89
Oxidación, 56
Oxígeno, 22, *22*, 50, 62, *62*, 106
Oxígeno, ciclo del, 106
Ozono, capa de, 12, 13, 102

P
P (v. Fósforo)
Paidogénesis, 85
Paleoceno, 103
Paleontología, 102
Paleozoica, 102, *102*
Pangea, 102
Parada nupcial, 71
Parasitismo, 49
Pared celular, 39, 42
Pared bacteriana, 40
Parénquima, *32*, 45
Parentesco filogénico, 101
Partenogénesis, 78, 79, 80, *81*, 85
Partenogénesis diploide, 79
Partenogénesis facultativa, 79
Partenogénesis haploide, 79
Partenogénesis obligada, 79
Pasteur, Louis, 20, *21*
Peces, 18
Pectina, *38*, 39
Pelos absorbentes, 45, 50, *50*
Pelos radicales, 50
Pelvis renal, 63
Penetración, 41
Pentosa, 24, 28, 54, 57
Péptido, 26
Peptidoglucano, 39, 40
Péptidos, cadenas de, 61
Período, 102, 103
Pérmico, 102
Peroxisoma, 35
pH, 22, 30, 105, 106
Phyla, 14, 16, 18, *19*, 102, *102*
Piel, 63, 63
Pinocitosis, 51
Pirámide trófica, 104
Piramidina, 13
Pirrofita, 17
Piruvato, 54, 55, *55*, 56
Pistilo, 78
Plancton, 43, *43*, 108, *108*
Planosfora, 75
Plantae, 15, 17
Plantas inferiores, 50
Plantas no vasculares (v. Briofitas)
Plantas superiores, 50, 75
Plantas vasculares (v. Traqueofitas)
Plantas verdes, 48, 58
Plántula, 83
Plánula, 80
Plaqueta, *26*, 47
Plásmido, 40, 95, 96
Plasmodio, 36, 73
Plasmotomía, 72
Plastos, 33, 35
Plataforma continental, 108, *109*
Platelmintos, 17, 18
Plegamiento, 61
Pleistoceno, 103
Pleitropía, 99
Plinio el Viejo, 20
Plioceno, 103
Pluricelular, 8, 10, 44, 66, 72, 74, 77, *79*, 82
Población, 10, 11, *11*, 98, 99, 100
Polaridad, 22
Polaridad eléctrica, 22
Polen, 78, 81
Polimerasa, 90
Polimerización, 13
Polímero, 22
Polinización, 77, 78
Polipeptídica, cadena, 61, 86
Poliploidía, 92, *92*
Pólipo, *18*, 80
Polisacárido, 24
Polo animal, 84
Polo vegetal, 84
Poríferos, 17, 18, *18*
Poros nefridiales, 63
Posreducción, *73*
Potasio, 22
Potencial de acción, 67
Precámbrico, 102
Preformación espontánea, 20
Preformista, 20
Prerreducción, *73*
Presión selectiva, 99
Principales elementos, 22, *22*
Principio de exclusión competitiva, 105
Principios inmediatos, 12, 22, 24
Priones, 41
Prirrofita, 43
Procariota, 15, 16, 17, 32, *33*, 34, *41*, 91, 94
Producción, 104
Producción primaria, 104, 105
Producción secundaria, 104
Productores, 104
Productores primarios, 106, 109
Profase, 73
Prognatismo, 103
Prolongación, 61, 91
Promotores, 91
Pronación, 103
Prostaglandina, 69
Protaglucano, 24
Protalo, 81
Protamina, 27
Proteína, 13, 22, *24*, 26, *26*, *27*, 30, 31, 54, 60, 86, 91, 94, 101
Proteína rho, 91
Proteínas, anabolismo de las, 60
Proteínas, clasificación, 27
Proteínas, comparación de, 14
Proteínas de membrana, 38
Proteínas de transporte, 53
Proteínas, estructura de las, 26
Proteínas estructurales, 36
Porteínas fibrosas, 27
Proteínas globulares, 27
Proteínas integrales, 39
Proteínas periféricas, 39
Proteínas, síntesis, *61*, 82
Proterozoica, 102
Prótido, 22, 57
Protista, 15, *16*, 17, 42, *42*, 43, *72*, 75
Protofitas, 17

Escaneado con CamScanner

Protón, 10
Protonefridio, 63
Protoplasma, 32
Protostomados, 17, 18, *19*
Protozoarios, *16*, 17, 43, 51, 62, 63, 64, *78*
Pruebas biogeográficas, 101
Pruebas bioquímicas, 101
Pruebas embriológicas, 101
Pruebas inmunológicas, 101
Pruebas morfológicas, 101
Pruebas paleontológicas, 101
Pseudocelomados, 18
Pseudópodos, *39*, 42, 65
Pteridofitas, 17, *17*, 91, 102
Puente citoplasmático, 95
Pulmones, 52, 63
Pulsátil, 66
Pupa, 85
Purina, 13, 57
Putrefacción, 49

Q
Quimiosíntesis, 49, 58, 59, 106

R
Radiación adaptativa, 101
Radiación radioactiva, 12
Radiación solar, 12
Radícula, 83
Raíz, 83
Rayos ultravioletas, 12, 13
Réaumur, René, 20
Recepción, 67
Receptor, 67
Receptores de membrana, 38, 39
Recón, 94
Reconocimiento, *71*
Reconocimiento de los sexos, 71
Red trófica, 104
Reflejo, 70
Región nerítica, 108
Región oceánica, 108
Registro fósil, 102
Registro fosilífero, 101
Regresión, *101*
Reino, 13, 16
Replicación, 13, 28, 90
Reproducción alternante, 80
Reproducción asexual, 8, 42, 72, 74, *75*
Reproducción asexual monocitógena, *75*
Reproducción asexual policitógena, *74*
Reproducción sexual, 8, 42, 74, 76, *76*, *78*, 79, 102
Reproducción vegetativa, *72*, 74, *75*
Reptiles, 18
Respiración, 48, 51, 52, 56, 105
Respiración aerobia, 54, 55
Respiración anaerobia, 54
Respiración branquial, 52
Respiración celular, 48, 54, 59, 60
Respiración cutánea, 52
Respiración fisiológica, 52
Respiración pulmonar, 52
Respiración traqueal, 52
Respuesta celular inespecífica, 64
Respuesta inmune, *64*, 65
Respuesta inmune humoral, 65
Retículo endoplásmico granular, 34
Retículo endoplásmico liso, 34
Retrocruzamiento, 88, *89*
Ribosa, 13, 24, 28, 60
Ribosoma, 34, 61
Ribulosa, 24
Rodofita, 17, *17*
Rotíferos, 17, 18
Rutas catabólicas, 54

S
S (v. Azufre)
Sacarosa, 24, *25*
Saco embrionario, 78, 81
Sales minerales, 22, *26*, 50
Sangre, *26*, 47, 53, 60, 62, 63, 64, 66
Saponificación, 25
Saprobiontes, 49
Saprofitismo, 49
Sarcodinos, 17
Savia bruta, 50, 62
Savia elaborada, 50
Schleiden, M., 20
Schwann, Th., 20
Secreción hormonal, 31
Secreciones ácidas del estómago, 64
Secuencias de inserción, 94
Segmentación, 84
Segundos elementos, 22
Selección natural, 98, 100
Semilla, 81, *81*, 83
Senos, 53
Silúrico, 102
Simbiosis, 49, *49*
Sinapsis, 47, 66, 67, 73, 88
Sincitio, 36
Sincronización del estado fisiológico, 71
Síndrome de Down, 93
Síntesis de materia orgánica, 106
Sistema, 10, 46
Sistema circulatorio, 51
Sistema circulatorio abierto, *52*, 53
Sistema circulatorio cerrado, 53
Sistema del complemento, 65
Sistema hormonal, 66, *68*, 69, 70
Sistema inmune, 64, 65
Sistema linfático, 53
Sistema nervioso, 66, 67, *68*, *69*, 70
Sistema nervioso anular, 69
Sistema nervioso cordal, 68
Sistema nervioso de red difusa, 68
Sistema nervioso ganglionar, 69
Sistema nervioso tubular, 69
Sistema reticuloendotelial, 64
Sodio, 22
Soros, 81
Spallanzani, Lazzaro, 20
Sucesión, 105
Sucesión primaria, 105
Sucesión secundaria, 105
Suctorios, 17
Sudación, *9*
Sudor, 9, *9*
Sulfobacteria, 49, 59, 106
Supinación, 103
Suspensor del embrión, 83
Sustrato, 30
Sycon, *18*

T
Talo, 44, *45*
Talofitas, 102
Talud continental, 108, *109*
Taxias, 70
Taxonomía, 14
Tegumento, 83
Tejido, 8, 10, 23, 64
Tejido adiposo, 46, 60
Tejido cartilaginoso, 46
Tejido conectivo, 46, *47*
Tejido conectivo denso, 46
Tejido conectivo elástico, 46
Tejido conectivo laxo, 46
Tejido conectivo reticular, 46, *47*
Tejido conjuntivo, 64
Tejido epitelial, 46, *46*
Tejido epitelial estratificado, 46
Tejido epitelial simple, 46
Tejido linfático, 53
Tejido meristemático, 44
Tejido muscular, 47
Tejido nervioso, 47
Tejido óseo, 47
Tejido tegumentario, 45
Tejido vascular, *19*, 45
Tejido vegetal, *8*, 44
Tejidos animales, 46, *47*
Tejidos de excreción, 45
Tejidos embrionarios, 74
Tejidos fundamentales, 45
Telitoquia, 79
Telofase, 73, *73*
Temperatura corporal, 9, *9*
Teoría celular, 20, 32
Teoría cromosómica de la herencia, 21
Teoría de la evolución, 20, *98*
Terciario, 103
Terminación, 61, 91
Testículos, 77
Tétradas, 73
Timina, 28, *29*
Tipo, 14
Totipotencia, 74
Totipotencia embrionaria, 74
Trabajo celular, 48
Traducción, 29
Transcripción, 29, 91, 94
Transcriptasa, 96
Transducción, 41, 95, *96*
Transformación, 61, 95, 106
Transmisión, 67
Transpiración, 62
Transporte, 48, 50
Transporte activo, 53
Tráquea, 52
Traqueofitas, 17, 18, 44
Traslocación, 93
Trasposanes, 94
Triásico, 102
Trifosfato de adenosina (v. ATP)
Triglicérido, 25
Trisomías, 93
Tronco, 14, 16
Tropismo, 70
Tubo polínico, 78, 81
Tubos de Malpigio, 63

U
Ultramicrotomo, 33
Umbral, 67
Unicelular, 8, 10, 16, *39*, 66, 72, 74
Uniformidad, 98
Uniones estrechas, 39
Uracilo, 28
Urea, 57
Ureotélicos, 57
Uréter, 63
Uretra, 63
Unicotélicos, 57
Urocordados, 17, 18

V
Vacuola, 33, 35, 62, 64
Vacuolas contráctiles, *39*, 42
Vacuolas digestivas, 35, *39*, 51, *51*, *65*
Vacuolas pulsátiles, 35
Variabilidad, 76, 92
Variabilidad continua, 92
Variabilidad discontinua, 92
Variación genética, 76
Vasalio, André, 20
Vasos cribosos, 45
Vasos leñosos, 45, 50
Vasos linfáticos, 53
Vasos sanguíneos, 53
Vegetación clímax, 108
Vegetales, 50, 60, 77
Vertebrados, 17, 18, *19*, 31, 63, 65, 69
Vertebrados acuáticos, 63
Vías respiratorias, 64
Vibrátil, 66
Vibrios, *41*
Vitamina C, *31*
Virión, 41
Viroides, 41
Virología, 21
Virus, 8, 10, *10*, 33, 36, 40, 41, 64, 65, 94, *94*
Virus lisógenos, 41
Vitamina, 22, 23, *24*, 30
Vitelo nutritivo, 84

W
Wallace, A. R., 20, 99
Watson, J., 21

X
Xilema, 45, 50

Y
Yema, 72, 74, 75
Yodo, 22

Z
Zoides, 75
Zona abisal, 108, *109*
Zona fótica, 108
Zooplancton, 17, 108, *109*
Zoosporas, 75

Escaneado con CamScanner

Escaneado con CamScanner

Escaneado con CamScanner

La Biología se ocupa del estudio de la vida bajo todas sus formas, desde los minúsculos seres invisibles al ojo humano, como los virus, hasta los animales superiores dotados de una compleja organización cuyo cuerpo está animado por la interacción de órganos, aparatos y sistemas.

Para la mejor comprensión de los distintos niveles del conocimiento biológico -molecular, celular, fisiológico, hereditario, ecológico y evolutivo- se ha prestado especial atención a las ilustraciones de este Atlas, así como a la claridad del texto, con la esperanza de que sirva de guía para todos aquellos que, por necesidad de estudio o por deseo de conocimiento, quieran adentrarse en el apasionante mundo de lo viviente.

ISBN 84-8055-014-7

Grupo CULTURAL

Escaneado con CamScanner